



TUGAS AKHIR - SF 141501

**STUDI PENYERAPAN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK RENTANG X-BAND DENGAN
MENGUNAKAN PENYERAP PANI KONDUKTIF DAN
BARIUM M-HEKSAFERRIT TERDOPING ION Zn
($0,3 \leq X \leq 0,9$)**

**Ni'matul Awalin
NRP 1113100012**

**Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**STUDI PENYERAPAN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK RENTANG X-BAND DENGAN
MENGUNAKAN PENYERAP PANi KONDUKTIF DAN
BARIUM M-HEKSAFERRIT TERDOPING ION Zn
($0,3 \leq X \leq 0,9$)**

**Ni'matul Awalin
NRP 1113100012**

**Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF 141501

**STUDY OF ELECTROMAGNET WAVES
ABSORPTION at X-BAND RANGE USING
CONDUCTIVE PANi AND BARIUM M-HEKSAFERRIT
ABSORBER DOPED ION Zn ($0,3 \leq X \leq 0,9$)**

**Ni'matul Awalina
NRP 1113100012**

**Advisors
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**Department of Physics
Faculty of Mathematics and Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PENYERAPAN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK RENTANG X-BAND DENGAN
MENGUNAKAN PENYERAP PANI KONDUKTIF DAN
BARIUM M-HEKSAFERRIT TERDOPING ION Zn
($0,3 \leq X \leq 0,9$)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

NI'MATUL AWALIN
11 13 100 012

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Mochamad Zainuri, M.Si
NIP. 19640130 199002 1001


(.....)



**STUDI PENYERAPAN GELOMBANG
ELEKTROMAGNETIK RENTANG X-BAND DENGAN
MENGUNAKAN PENYERAP PANi KONDUKTIF DAN
BARIUM M-HEKSAFERRIT TERDOPING ION Zn
($0,3 \leq x \leq 0,9$)**

Penulis : Ni'matul Awalinn
NRP : 1113100012
Departemen : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstrak

Doping ion Zn^{2+} $x = 0,3, 0,5, 0,7$ dan $0,9$ pada material magnetik Barium M-Heksaferit (BaM) telah berhasil disintesis dengan metode solid state reaction. Material konduktif polianilin disintesis menggunakan metode polimerisasi dengan dopan DBSA. Material RAM dikarakterisasi melalui X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared (FTIR), Four Point Probe (FPP), Scanning Electron Microscope (SEM) dan Vector Network Analyzer (VNA). Fasa BaM terbesar diperoleh pada BaM $x = 0,9$ yaitu 95,98%. Penambahan konsentrasi doping Zn^{2+} tidak berpengaruh secara signifikan pada konduktivitas listrik BaM. BaM/PANi digunakan sebagai filler pada matrik cat kapal untuk membentuk material komposit. Pelapisan pada plat baja kapal grade A tipe AH-36 dilakukan dengan metode casting menggunakan desain pelapisan multilayer 4 mm. Desain multilayer meningkatkan nilai rugi refleksi dan pelebaran pita penyerapan rentang X-Band (8,2-12,4 GHz). Rugi refleksi terbesar diperoleh dari pelapisan BaM $x = 0,9$ yaitu -39,004 dB, sedangkan pelebaran pita serapan terbesar diperoleh dari pelapisan BaM $x = 0,3$ yaitu 3,4 dB. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dengan penambahan konsentrasi doping Zn^{2+} maka cenderung meningkatkan daya serapan material BaM.

Kata kunci : BaM, Doping, Polianilin, RAM, Reflection Loss

STUDY OF ELECTROMAGNET WAVES ABSORPTION at X-BAND RANGE USING CONDUCTIVE PANi AND BARIUM M-HEKSAFERRIT ABSORBER DOPED ION Zn ($0,3 \leq x \leq 0,9$)

Name : Ni'matul Awalín
NRP : 1113100012
Departement : Fisika FMIPA ITS
Supervisor : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstract

Doping ion Zn^{2+} $x = 0,3, 0,5, 0,7$ and $0,9$ on the magnetic material Barium M-Hexaferrites (BaM) has successfully synthesized by solid state reaction method. Polianilin conductive was synthesized using polymerization method with DBSA dopan. RAM were characterized by X-Ray Fluorescence (XRF), X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared (FTIR), Four Point Probe (FPP), Scanning Electron Microscope (SEM) and Vector Network Analyzer (VNA). The maximum BaM phase that is 95,98% obtained at BaM $x 0,9$. Addition of doping Zn^{2+} concentration just give a little effect on BaM electrical conductivity. BaM/PANi used as filler on the matrix of marine coating to make a composite materials. Coating on steel ships grade A type AH-36 done with the casting method using design multilayer 4 mm. Multilayer is effective to increase the reflection loss and absorption bandwidth on X-Band range (8,2-12,4 GHz). The reflection loss maximum that is -39,004 dB obtained at BaM $x 0,9$, while the maximum absorption bandwidth is 3,4 dB at BaM $x 0,3$. Based on this experiment we know that addition of doping Zn^{2+} concentration can be increased the potential absorption of RAM materials.

Keywords : BaM, Doping, Polianilin, RAM, Reflection Loss

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

“Studi Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Rentang X-Band Dengan Menggunakan Penyerap Pani Konduktif Dan Barium M-Heksaferrit Terdoping Ion Zn ($0,3 \leq X \leq 0,9$)”

Penulis menyadari bahwa terselesainya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta Ibu Eka yulianti, Ayah Jaenuri, dan adik Irmadha, yang selalu memberikan kasih sayang, do'a serta dukungan baik moral maupun spiritual tiada henti kepada penulis selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen pembimbing tugas akhir dalam memberi bimbingan, wawasan, motivasi dan nasehat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik
3. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Dr. rer. nat. Eko Minarto, selaku Ketua Jurusan dan Seketaris Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tugas Akhir ini.
4. Ibu Melania Suweni Muntini selaku dosen wali yang telah memberikan saran yang berhubungan dengan mata kuliah selama masa perkuliahan penulis.
5. Dirjen DIKTI yang telah memberikan beasiswa penuh kepada penulis selama menyelesaikan studi S1 di Fisika ITS.
6. Mbak Umi Nuraini yang telah membantu membimbing penulis dalam hal analisis data kristalografi dan membimbing proses sintesis material Tugas Akhir ini

7. Mas Adi yang selalu medoakan, memotivasi dan menemani penulis selama menyelesaikan studi di Fisika ITS
8. Kepala Laboratorium dan Staf Laboran material terutama kepada Pak Sholih dan Pak Slamet yang selalu siap sedia membantu penulis dalam penyediaan alat maupun bahan material saat pengerjaan Tugas Akhir
9. Sahabat seperjuangan sintesis yaitu Mbak Umi, Mbak Vamelia, Mbak Ikha, Mbak ika, Mbak Iva, Bayu Prasetya, Uchi, Sari, wildah, Afyra, Dinar, Ika Widya, Novia, Mas akmal atas kerjasamanya dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan seluruh anggota Laboratotium Fisika Material ITS
10. Keluarga tersolidku selama di ITS yaitu keluarga U-64 Nurin, Adha, Manda, Befie, Lita, Mbak Gita, Rifka, ira dan teman-teman GK-21 selalu ada saat susah maupun senang selama belajar di Fisika ITS
11. Keluarga Supernova Fisika 2013 yang selalu memberi dukungan dan motivasi serta menemani penulis selama 4 tahun belajar di Fisika ITS
12. Semua keluarga besar UKM Persaudaraan Setia Hati Terate ITS yang selalu solid dimanapun kita berada
13. Tim ProtekJ yang sering memotivasi dan manasehati penulis saat menyelesaikan Tugas Akhir.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini masih belum sempurna. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan masalah	4
1.5 Manfaat penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Penyerap Gelombang Radar (RAM)	5
2.2 Barium M-Heksaferrit (BaM).....	6
2.3 Sifat Kemagnetan Material	9

2.4	Pengaruh Substitusi Ion Zn	10
2.5	Polianilin (PANi).....	11
BAB III METODOLOGI		
3.1	Peralatan dan Bahan	15
3.2	Prosedur Kerja	15
3.2.1	Preparasi dan Pemurnian Serbuk Batu Besi .	15
3.2.2	Sintesis Kopresipitasi Fe_2O_3	16
3.2.3	Sintesis Barium Heksaferrit	16
3.2.4	Sintesis Polianilin (PANi)	17
3.2.5	Pelapisan <i>Multilayer</i>	18
3.3	Karakterisasi Sampel	19
3.3.1	X-Ray Fluorescence (XRF).....	19
3.3.2	Difraksi Sinar-X	19
3.3.3	<i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	19
3.3.4	Scanning Electron Microscope (SEM).....	20
3.3.5	<i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	20
3.3.6	<i>Four Point Probe</i> (FPP)	20
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	21
3.4.1	Preparasi dan Pemurnian Batu Magnetik	21
3.4.2	Sintesis Kopresipitasi Fe_2O_3	22
3.4.3	Sintesis Barium Heksaferrit	23
3.4.4	Sintesis Polianilin (PANi).....	24
3.4.5	Pelapisan Material	25
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		

4.1	Preparasi Batuan Serbuk Fe_3O_4	27
4.2	Hasil Sintesis Hematit Fe_2O_3	29
4.3	Hasil Sintesis Material RAM.....	30
4.3.1	Material Magnetik Barium M-Heksaferit	30
4.3.2	Material Konduktif Polianilin (PANi).....	34
4.4	Analisis Gugus Fungsi RAM.....	36
4.5	Analisis Sifat Konduktifitas Listrik RAM.....	38
4.6	Analisis Struktur Morfologi RAM	40
4.7	Analisis Sifat Penyerapan RAM	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN A		57
LAMPIRAN B		61
LAMPIRAN C		63
LAMPIRAN D		64
BIODATA PENULIS		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (Pullar, 2012)	7
Gambar 2.2 Unit <i>cell</i> & rangkaian blok RSR^*S^* BaM (Pullar,2012)	8
Gambar 2.3 Kurva histerisis material ferromagnetik	9
Gambar 2.4 Struktur Polianilin pada tingkat oksidasi yang berbeda (a) Pernigranilin (b) Emeraldin (c) Leukoemeraldin (Setianingsih,2014).....	13
 Gambar 3. 1 Desain pelapisan multilayer.....	18
Gambar 3. 2 Diagram alir preparasi dan pemurnian batu magnetik	21
Gambar 3. 3 Diagram alir sintesis kopresipitasi Fe_2O_3	22
Gambar 3. 4 Diagram alir sintesis BaM	23
Gambar 3. 5 Diagram alir sintesis PANi	24
Gambar 3. 6 Diagram alir pelapisan multilayer	25
 Gambar 4. 1 Data karakterisasi XRD batu besi.....	28
Gambar 4. 2 Analisa Pertumbuhan puncak fasa Fe_2O_3 hasil XRD	29
Gambar 4.3 (a) Prekursor Fe_2O_3 sebelum kalsinasi (b) Serbuk Fe_2O_3 setelah kalsinasi	30
Gambar 4. 4 Data karakterisasi XRD BaM $x = 0,3, 0,5, 0,7$, dan $0,9$	32
Gambar 4. 5 Data karakterisasi XRD Polianilin	35
Gambar 4. 6 Hasil uji spektroskopi FTIR BaM dan PANi.....	36
Gambar 4. 7 Hasil Karakterisasi SEM (a) BaM $x 0,3$, (b) BaM $x 0,5$, (c) BaM $x 0,7$, (d) BaM $x 0,9$	41
Gambar 4. 8 Hasil pengukuran butiran BaM $x 0,3$	42
Gambar 4. 9 Hasil pengamatan SEM-EDX BaM $x 0,3$	43
Gambar 4.10 Grafik rugi refleksi pada frekuensi <i>X-Band</i>	45
Gambar 4. 11 Pelebaran pita frekuensi oleh pelapisan material RAM	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data karakterisai batu besi tanah laut menggunakan XRF	27
Tabel 4. 2 Rumus Molekul BaM akibat variasi doping Zn	31
Tabel 4.3 Data persentase komposisi fasa dan parameter kisi BaM	33
Tabel 4. 4 Analisa data fungsi BaM dan PANi	37
Tabel 4. 5 Data hasil uji konduktifitas listrik BaM dan PANi	39
Tabel 4. 6 Persentase persebaran elemen penyusun BaM	43
Tabel 4. 7 Nilai rugi refleksi komposit RAM.....	46
Tabel 4. 8 Data analisa pelebaran pita penyerapan komposit RAM	48

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Dokumentasi Penelitian
LAMPIRAN B	Penghalusan Rietveld dengan Software Rietica
LAMPIRAN C	Data ICSD BaM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)
LAMPIRAN D	Data ICSD Hematit (Fe_2O_3)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teori gelombang elektromagnetik (EM) banyak dimanfaatkan dalam berbagai perangkat teknologi. Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan teknologi gelombang EM yang dipancarkan oleh suatu sumber daya dengan panjang gelombang tertentu. Radar sendiri banyak dimanfaatkan dalam dunia pertahanan seperti aplikasi bidang militer dan pemerintahan. Radar dapat memancarkan dan menerima sinyal pulsa yang telah termodulasi, sehingga dengan menggunakan radar dapat diketahui bentuk, jenis, jarak maupun ukuran dari target (Gustomo dan Suwadi, 2013). Dalam dunia pertahanan militer, radar banyak digunakan untuk mendeteksi target musuh. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka saat ini banyak dikembangkan teknologi pertahanan siluman (*stealth technology*) pada pesawat dan kapal perang. Efisiensi dari teknologi siluman bergantung pada banyak sedikitnya energi EM yang dipantulkan kembali ke *reciever* (penerima) oleh target. Hal inilah yang disebut dengan RCS (*Radar Cross Section*). Agar target tidak terdeteksi maka nilai RCS harus sekecil mungkin (Agustianto dan Widyastuti, 2014).

Radar Absorbing Material (RAM) yaitu metode pelapisan yang diterapkan untuk mereduksi energi gelombang EM yang diterima oleh target. Material RAM dapat mengubah gelombang elektromagnet yang dipancarkan radar menjadi energi panas dengan kemampuan magnetik dan dielektriknya. Akibat dari perubahan gelombang radar menjadi energi panas tersebut maka gelombang yang seharusnya terpantul dan diterima *reciever* sangat lemah. Penerapan material RAM akan berpengaruh pada penambahan berat pesawat dan kapal perang. Oleh karena itu untuk mengoptimalkan metode RAM ini harus digunakan material penyerap dengan kemampuan serap yang tinggi akan tetapi dengan berat ringan mungkin (Saville, 2005).

Material RAM yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari 2 komponen utama yaitu magnetik dan dielektrik. Sifat magnetik RAM akan dikembangkan dengan menggunakan Barium M-Heksaferrit, sedangkan sifat dielektrik RAM akan dikembangkan dengan menggunakan Polianilin (PANi). Struktur hexagonal tipe M merupakan salah satu jenis ferrit yang dapat digunakan sebagai bahan anti deteksi radar pada range tertentu. Barium M-Hexferrit biasa ditulis dengan notasi BaM dan memiliki stoikiometri dengan struktur hexagonal. BaM merupakan feromagnetik oksida yang banyak digunakan sebagai aplikasi *radio frequency* dan *microwave*. Barium hexaferrit dikenal sebagai magnet permanen yang memiliki sifat hard magnetik (Ristiani dan Zainuri, 2016a).

Banyak penelitian yang dilakukan untuk merekayasa sifat *hardmagnetik* BaM. Dengan melakukan substitusi atau doping menggunakan unsur divalent dapat mengubah sifat magnetik BaM. Hal ini dikarenakan unsur –unsur golongan tersebut memiliki jari-jari ionik dan konfigurasi elektron yang hampir sama (Efhana dkk., 2013). Sifat dielektrik RAM oleh PANi dapat diperoleh menggunakan proses polimerisasi monomer anilin. PANi merupakan polimer konduktif yang memiliki ikatan rantai terkonjugasi. Dengan sifat konduktif PANi maka dapat memaksimalkan penyerapan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet (Setianingsih dkk, 2014).

Telah banyak metode yang digunakan dalam mensintesis material BaM diantaranya metode keramik, kopresipitasi, sol gel, ion *exchange*, *autocombustion* dan lain sebagainya (Pullar, 2012). Pada penelitian ini akan digunakan metode *solid state reaction* dalam sintesis pembentukan BaM dan sintesis polimerisasi dalam pembentukan PANi. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis BaM dengan menggunakan metode *solid state reaction* dengan doping ion Zn sebesar $x = 0,3$. Kombinasi komposit BaM/PANi dengan menggunakan pelapisan *single layer* diketahui menunjukkan serapan yang baik (Rachmawati dan Zainuri, 2016).

Dengan menggunakan desain pelapisan *single layer* dapat diperoleh nilai minim rugi refleksi yang besar, sedangkan dengan menggunakan desain pelapisan *double layer* dapat diperoleh pelebaran pita penyerapan yang baik (Ristiani dan Zainuri, 2016). Oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dikembangkan rekayasa terhadap sifat kemagnetan material BaM dengan memberikan doping ion Zn pada variasi mol $x = 0,3, 0,5, 0,7$, dan $0,9$. Rekayasa yang dilakukan bertujuan dapat meningkatkan sifat serapan dan anti deteksi radar yang dimiliki oleh material RAM itu sendiri. Sintesis BaM menggunakan bahan alam yaitu pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan. Kedua bahan RAM akan dijadikan resin dalam cat dan dilapiskan pada plat baja kapal *grade* tipe AH-36 dengan pelapisan *multilayer*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan proses doping Zn terhadap struktur Fe_2O_3 dalam pembentukan BaM?
2. Bagaimana pengaruh variasi doping Zn terhadap sifat kelistrikan BaM?
3. Bagaimana pengaruh variasi doping Zn terhadap kemampuan penyerapan BaM terhadap gelombang elektromagnetik rentang *X-Band*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk membentuk struktur BaM dengan cara merekayasa konsentrasi ion Zn
2. Untuk mengetahui sifat kelistrikan yang terkait dengan perubahan konsentrasi Zn
3. Untuk mengetahui pengaruh struktur lapisan terhadap penyerapan gelombang elektromagnetik rentang *X-Band*.

1.4 Batasan masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Sintesis material magnetik Barium M-Heksaferrit berbasis bahan alam pasir besi Tanah Laut Kalimantan
2. Material Barium M-Heksaferrit dilakukan pemberian dopan Zn $x = 0,3, 0,5, 0,7, \text{ dan } 0,9$ dengan metode *solid state reaction*
3. Sintesis material dielektrik polianilin dengan pemberian doping DBSA
4. Pelapisan dilakukan pada plat baja *grade* tipe AH-36.

1.5 Manfaat penelitian

Hasil dari penelitian tugas akhir di diharapkan dapat membentuk RAM yang terdiri dari material dielektrik polianilin dan material magnetik Barium M-Heksaferrit dengan fasa BaM mencapai 100%. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran dan referensi dalam pengembangan material penyerap gelombang radar (RAM) berbasis bahan alam.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang menggambarkan tentang gambaran umum dari penelitian ini. Bab I yang berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisikan tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan dasar teori sebagai acuan dari penelitian. Bab III berisikan tentang metodologi penelitian tugas akhir. Bab IV berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasannya. Dan Bab V berisikan tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Penyerap Gelombang Radar (RAM)

Saat ini aplikasi radar (*Radio Detection and Ranging*) semakin meningkat dalam bidang pertahanan untuk mendeteksi suatu target. Oleh karena itu dalam kemajuan teknologi *microwave* membuat fokus dalam pengembangan efisiensi anti radar sebagai teknologi siluman (Das dkk., 2014). Perkembangan teknologi anti radar sebagai penunjang pertahanan negara sangatlah pesat. Radar dapat terdeteksi berdasarkan *Radar Cross section* (RCS), yaitu berupa daerah pada target yang memantulkan sinyal datang.

Untuk memperkecil nilai RCS dikembangkan empat desain anti radar yaitu *shaping*, *Radar Absorbing material* (RAM), *passive cancellation* dan *active cancellation*. Pada metode *shaping* digunakan untuk mengurangi sinyal radar yang terpantul kembali ke *reciever*. *Shaping* dilakukan dengan mendesain bentuk atau geometri dari benda anti radar secara bersudut, sehingga luasan penampang yang dapat ditangkap radar semakin kecil. Dengan desain bersudut maka gelombang radar yang diterima akan dipantulkan acak ke arah lain sehingga tidak ditangkap kembali oleh *reciever*. Sedangkan metode yang kedua adalah menggunakan material penyerap gelombang radar yang disebut dengan RAM (*Radar Absorbing Material*). Pada metode ini didasarkan pada 2 prinsip penyerapan yang terdiri dari aspek magnetik dan aspek dielektrik. Dengan adanya 2 aspek tersebut diharapkan gelombang radar yang diterima dapat diserap dengan sempurna oleh material anti radar. Kemudian metode ketiga yaitu *passive cancellation* merupakan metode anti radar dengan cara melapisi material dielektrik. Metode ini didesain untuk memodifikasi impedansi permukaan sehingga sinyal radar yang kembali akan tersebar kemana-mana. Metode keempat yaitu *active cancellation* yaitu metode yang digunakan untuk mendeteksi sinyal radar yang datang kemudian memperkuat

sinyal balik. Sehingga sinyal pantulan memiliki amplitudo yang sebanding dan fase yang berlawanan dengan sinyal datang. Akibatnya sinyal pantul tersebar dan menabrak sinyal datang yang lain (Yuzcelik, 2003).

2.2 Barium M-Heksaferrit (BaM)

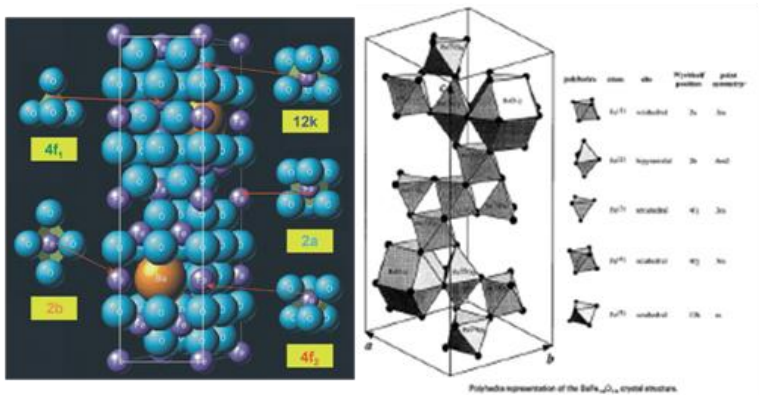
Semua material heksagonal ferrit memiliki struktur kristal yang kompleks. Heksagonal ferrit dapat diklasifikasikan dalam beberapa tipe diantaranya tipe M, W, X, Y, Z, dan U. Masing-masing tipe memiliki rumus kimia dan unit cell yang berbeda-beda. Heksagonal ferrit merupakan material feromagnetik yang secara keseluruhan memiliki sifat magnetokristalin anisotropi. Golongan material heksagonal ferrit memiliki sifat kemagnetan dapat direkayasa sedemikian rupa, sehingga banyak dipakai dalam berbagai penelitian ilmiah. Material heksagonal ferrit yang paling banyak diteliti saat ini adalah tipe M seperti barium heksaferrit (BaM) dan cobalt heksaferrit (Pullar, 2012). Hal ini dikarenakan material heksagonal ferrit memiliki kestabilan kimia yang bagus dan relatif lebih ekonomis dalam produksi, sehingga sangat cocok untuk diterapkan dalam peralatan teknologi dijangkauan yang lebih luas (Efhana dkk., 2013).

Tabel 2.1 Klasifikasi tipe heksagonal ferrit berdasarkan rumus molekul (Pullar, 2012)

Tipe Ferrit	Rumus Molekul	Keterangan
M	$RFe_{12}O_{19}$	R = Ba, Sr, Pb Me = Ion Divalen (Zn^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+})
W	$RMe_2Fe_{16}O_{27}$	
X	$R_2Me_2Fe_{28}O_{46}$	
Y	$R_2Me_2Fe_{12}O_{22}$	
Z	$R_3Me_2Fe_{24}O_{41}$	
U	$R_4Me_2Fe_{36}O_{60}$	

Barium heksaferrit sering ditulis dengan notasi BaM, dimana memiliki stoikiometri dengan struktur heksagonal yang merupakan jenis bahan feromagnetik oksida. BaM memiliki sifat

dielektrik dan magnetik yang banyak digunakan dalam aplikasi RF (*Radio Freuency*) dan *microwave*. Penggunaan BaM sebagai material magnet permanen dan perekam magnetik sangat diminati sehingga banyak penelitian dilakukan pada jenis material ini. Berbagai sifat magnetik material dapat divariasikan dengan substitusi pada kation yang berisi Fe^{3+} dalam struktur $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (BaM) (Priyono, 2013).

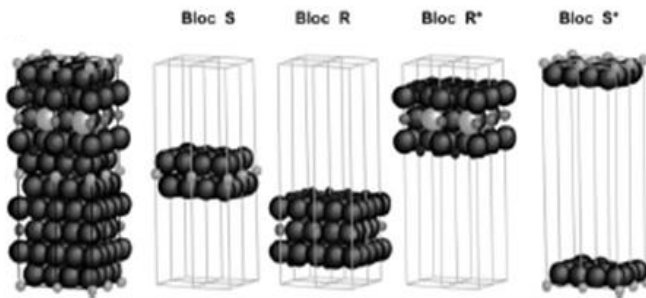


Gambar 2. 1 Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (Pullar, 2012)

Komponen BaM sudah diketahui sejak tahun 1936 dengan titik leleh sebesar 1390°C . Pada tahun 1950 struktur BaM mulai dikarakterisasi yaitu berupa material isomorphous dengan struktur heksagonal magnetolumbite oleh Philips. BaM diberi inisial ferroxdure untuk membedakan dengan spinel ferrit yang bernama ferroxcube. Massa molekul yang dimiliki oleh BaM sendiri adalah 1112 gram/mol dengan densitas maksimal $5,295 \text{ g cm}^{-3}$. BaM merupakan material magnet kuat uniaxial anisotropi. (Pullar, 2012).

Material BaM memiliki nilai saturasi magnet polarisasi yang tinggi yaitu sebesar 78 emu/g. Selain hal tersebut material BaM juga memiliki temperatur Curie yang tinggi 450°C dan medan koersifitas yang lebar yaitu 6700 Oe. Material BaM memiliki

stabilitas kimia yang sangat baik dan tahan terhadap korosi. (Sholihah, 2012). Barium Heksaferrit BaM merupakan magnet permanen yang memiliki sifat listrik yang baik seperti permeabelitas dan resistivitas tinggi. Magnet permanen BaM merupakan magnet kuat yang mana masih memiliki sifat magnetisasi meski medan magnet luar yang mempengaruhinya telah dihilangkan (Soehada dkk., 2014). BaM termasuk dalam magnet kuat karena arah magnetisasinya tidak dapat dirubah dengan mudah ke arah lain. Medan koersivitas dan saturasi yang tinggi membuat BaM memiliki potensi yang baik untuk menyerap gelombang *microvawe* (Fadzidah dkk., 2014). Material magnet uniaxial anisotropi merupakan material dengan pembentukan arah domain magnet partikel searah, sedangkan material magnet isotropi merupakan material dengan pembentukan arah domain magnet partikel yang acak (Efhana dkk., 2013).



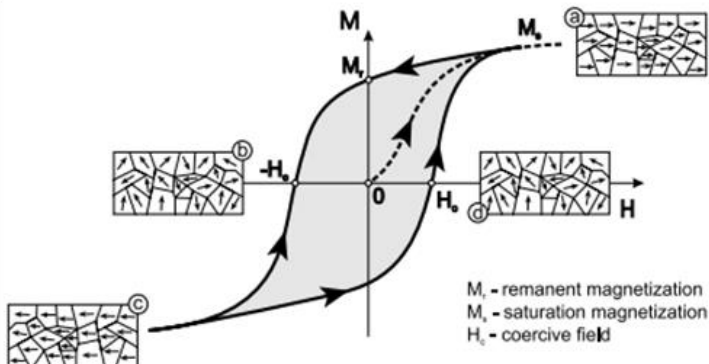
Gambar 2.2 Unit cell & rangkaian blok RSR*S* BaM (Pullar, 2012)

Kristal struktur magnet dari Barium M-Heksaferrit sangat kompleks. Unit molekular dari M ferrit tersusun atas satu blok S dan satu blok R, dengan bentuk lapisan kubik dan heksagonal dalam satu kesatuan. Sel satuan dasar berisi sepuluh lapisan oksigen secara berurutan dibangun oleh 4 blok yaitu S (spinel), R (heksagonal), S* dan R*. Blok S* dan R* memiliki susunan atom yang sama dan dirotasikan 180° terhadap S dan blok R

dirotasikan pada sumbu c (* adalah rotasi blok sebesar 180° di sekitar sumbu c). Blok S dan R saling terangkai secara kontinu membentuk struktur SRS*R*. Parameter kisi dari BaM yaitu $5,89 \text{ \AA}$ untuk sumbu a dan b, sedangkan untuk sumbu c yaitu $23,17 \text{ \AA}$ (Pullar, 2012).

2.3 Sifat Kemagnetan Material

Material magnetik memiliki besaran-besaran penting berdasarkan kurva histeris yaitu magnetik saturasi (M_s), medan koersivitas (H_c), dan magnetisasi remanen (M_r). Saat material magnetik dikenai medan magnet, ketiga parameter tersebut saling berkaitan satu sama lain. Magnetik saturasi merupakan kemampuan partikel untuk mempertahankan domain-domain magnetiknya ketika dikenai medan magnet luar. Magnetik saturasi disebut pula sebagai magnetisasi jenuh. Medan koersivitas merupakan besarnya medan magnet balik yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi material bernilai nol. Semakin besar nilai koersivitas maka semakin besar pula sifat kemagnetan material. Magnetisasi remanen merupakan remanensi magnet yang tersisa dalam material setelah pengaruh medan magnet luar dihilangkan (Ristiani and Zainuri, 2016).



Gambar 2.3 Kurva histeris material ferromagnetik
(Morjan, 2003)

Gambar 2.3 menjelaskan siklus magnetisasi pada material magnetik. Pada titik nol (0) adalah titik awal saat momen dipol magnet acak. Dengan memberikan pengaruh medan magnet luar (H) maka momen dipol magnet mulai disearahkan. Setelah mencapai tahapan tertentu kenaikan kurva akan terhenti. Momen dipol magnetisasinya menguat sesuai dengan besar medan magnet luar. Kondisi ini disebut dengan magnetik saturasi pada titik a. Saat medan magnet luar dilepas atau diturunkan secara bertahap, maka momen dipol magnetik akan kembali acak. Akan tetapi sifat magnetnya tidak hilang seketika atau masih ada sifat magnet tersisa yang disebut dengan keadaan remanensi. Hal ini ditunjukkan oleh titik b, dimana nilai medan magnet luar adalah nol (0). Saat medan magnet luar dibalik momen dipol magnetik akan disearahkan kembali. Saat medan magnet luar semakin bertambah dan magnetisasi (M) sama dengan nol akan diperoleh H_c atau medan koersivitas. Dengan menguatkan medan magnet balik maka momen dipol magnetik akan searah kembali pada arah yang berlawanan dan mencapai titik saturasi kembali pada titik c. Saat medan magnet luar dilepas maka momen dipol magnetik akan kembali acak seperti semula yang ditunjukkan oleh titik d. Begitu proses ini berlangsung terus menerus membuat sebuah siklus atau *loop* (Morgan, 2003).

2.4 Pengaruh Substitusi Ion Zn

Substitusi ion dapat dilakukan apabila terjadi perpindahan atom yang memiliki ukuran lebih kecil atau relatif sama dari atom yang akan di gantikan. Atom dapat berpindah jika terdapat kekosongan atau memiliki energi vibrasi yang cukup untuk melewati energi hambat saat proses difusi. Difusi atom adalah pergerakan atom-atom dari satu tempat ke tempat lain akibat adanya pemberian energi pada atom-atom tersebut (Yuliana, Zainuri, 2011). Logam transisi termasuk dalam kelas logam divalen, yang mana sering digunakan karena memiliki persamaan jari-jari ionik dan konfigurasi elektron dengan ion Fe^{3+} padastruktur BaM (Priyono, 2013).

Semakin tinggi sifat anisotropi BaM maka medan koersivitas juga semakin besar, akibatnya kemampuan penyerapan BaM menjadi semakin lemah. Oleh karena itu untuk mengurangi atau menurunkan sifat anisotropi pada BaM diperlukan proses doping dengan ion divalen lainnya. Divalen logam transisi seperti Co, Zn, Ti, dan Mn sering digunakan sebagai ion doping BaM (Sholihah and Zainuri, 2012). Zn (*Zinc*) merupakan logam yang berwarna putih kabuan dan bersifat diamagnetik. Logam ini bersifat keras dan rapuh pada suhu rendah. Zn memiliki titik lebur dan titik didih pada 419,53°C dan 907°C (Pangga, 2011).

Ion besi (Fe^{3+}) pada struktur BaM memiliki bilangan oksidasi +3 dengan jari-jari ionik sebesar 0,065 nm, sedangkan Zn^{2+} memiliki bilangan oksidasi +2 dengan jari-jari ionik sebesar 0,074 nm. Dengan nilai jari-jari ionik yang hampir sama maka proses pendopingan material BaM dengan ion Zn dapat dilakukan. Proses doping merupakan proses mensubstitusikan ion unsur lain kedalam struktur kristal tertentu. Pada proses doping ion Zn^{2+} akan menggantikan ion Fe^{3+} tetapi tidak merubah struktur kristal yang dimiliki material BaM. Ion Zn^{2+} digunakan untuk mengacak-acak susunan domain magnetik BaM, sehingga dapat menurunkan sifat kemagnetan dari *hardmagnetik* menjadi *softmagnetik* (Sholihah dan Zainuri, 2012).

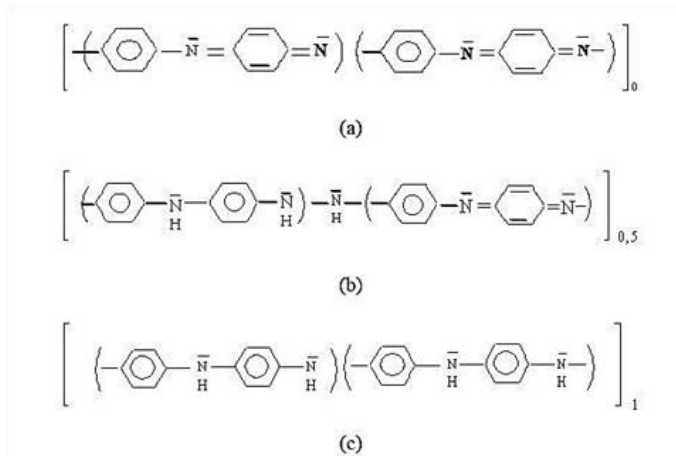
2.5 Polianilin (PANi)

Polianilin (PANi) merupakan polimer konduktif yang unik karena sifat optoelektriknya dapat dikontrol dengan mengubah derajat oksidasi pada rantai utama. Polianilin (PANi) diperoleh dari melalui proses polimerisasi monomer anilin. Anilin merupakan senyawa organik dengan komposisi $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ yang termasuk ke dalam kelompok senyawa aromatik yang mempunyai berat molekul 93 gr/mol, titik didih 183 – 186°C, indeks bias 1,58 dan rapat massa 1,002 kg/liter. Bentuk molekul anilin adalah heterosiklik enam sisi dengan amina merupakan salah satu substansi pembentuknya. Ikatan kimia pada molekul anilin adalah ikatan kovalen dengan tiga buah ikatan rangkap. Anilin larut

dalam senyawa organik seperti alkohol, benzena, kloroform dan aceton. Polimer PANi mempunyai dua gugus berulang, yaitu gugus tereduksi dan gugus teroksidasi. Gugus-gugus tersebut mengandung molekul-molekul berbentuk cincin benzoid dan cincin kuinoid yang dihubungkan satu sama lain oleh atom nitrogen melalui ikatan amina ($-NH-$) dan imina ($-N=$) (Setianingsih dkk, 2014).

Nilai y padastruktur umum polianilin menunjukkan struktur molekul PANi berkisar antara 0 dan 1, untuk menentukan tingkat oksidasi PANi. PANi terdapat dalam berbagai derajat oksidasi dan protonasi. Kedua hal ini menentukan bentuk dan sifat kimia PANi. Berdasarkan derajat oksidasinya, PANi dapat ditemukan dalam tiga bentuk, yakni Leukoemeraldin (LEB/ bentuk tereduksi penuh), Emeraldin (EB/ bentuk setengah teroksidasi), dan Pernigranilin (PGN/bentuk teroksidasi penuh). Bila $y = 0$, PANi berada dalam tingkat teroksidasi penuh maka menghasilkan polimer dalam bentuk basa pernigranilin sedangkan harga $y = 0,5$ berkaitan dengan tingkat setengah teroksidasi yang menghasilkan polimer dalam bentuk basa emeraldin dan untuk $y = 1$ berkaitan dengan tingkat tereduksi penuh yang menghasilkan polimer dalam bentuk basa leukoemeraldine (Mihardi, 2008).

PANi yang teroksidasi, akan kehilangan atom H yang berikatan kovalen dengan atom N di sebelah cincin benzoid. Penarikan atom H tersebut menyebabkan atom N tidak stabil karena memiliki satu elektron yang tidak berpasangan (polaron). Elektron pada atom N tersebut akan berikatan dengan elektron dari atom C pada cincin benzoid, sehingga mengubah cincin benzoid menjadi kuinoid dan mengubah ikatan amina menjadi imina. Sebaliknya pada PANi yang tereduksi atom N yang mengapit cincin kuinoid akan menangkap atom H, sehingga akan mengubah cincin kuinoid menjadi cincin benzoid dan mengubah ikatan imin menjadi amin (setianingsih, 2014).



Gambar 2. 4 Struktur Polianilin pada tingkat oksidasi yang berbeda
(a) Pernigranilin (b) Emeraldin (c) Leukoemeraldin
(Setianingsih,2014)

Dari tiga bentuk ini, EB yang paling stabil dan juga paling luas diteliti karena konduktifitasnya dapat diatur dari 10-10 S/cm hingga 100 S/cm melalui proses doping, sedangkan bentuk LB dan PB tidak dapat dibuat konduktif. Bentuk EB dapat dibuat konduktif dengan proses doping asam protonik seperti HCl, dimana proton-proton ditambahkan ke situs-situs $\text{N}=\text{}$, sementara jumlah elektron pada rantai tetap. Bentuk konduktif dari EB disebut emeraldine salt (ES). Bentuk dasar EB berubah menjadi ES melalui reaksi oksidasi dengan asam-asam protonik seperti HCl, sebaliknya bentuk ES dapat dikembalikan menjadi bentuk EB melalui reaksi reduksi dengan agen reduktan seperti NH_4OH . Kedua proses ini disebut juga proses protonasi-deprotonasi atau doping-dedoping. Kedua bentuk emeraldine memiliki sifat listrik yang berkebalikan dimana EB merupakan bentuk isolatif dan ES merupakan bentuk konduktif. Derajat konduktifitas emeraldine ini bergantung pada tingkat/konsentrasi dopant yang diberikan, yaitu jumlah proton (H^+) yang dimasukkan ke dalam struktur emeraldin (Mihardi, 2008).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Dalam penelitian tugas akhir ini peralatan yang digunakan adalah *ultrasonic cleaner*, penumbuk kuningan atau lumpang, alumunium foil, gelas ukur, *beaker glass*, *magnetic stirrer*, *hot plate*, mortar keramik, gelas erlemeyer, spatula kaca, spatula besi, pipet, kertas saring, kertas PH, timbangan digital, pirometer, kertas karton, *crusible*, tabung *sterofoam*, ayakan 170 mesh, ayakan 200 mesh, bola *milling*, *planetary ball milling* dan *Furnace*.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah batu besi sebagai sumber Fe_3O_4 , Hydrochloric Acid 37% (HCl) (pro analis, Merck), Air Destilasi/Akuades, Barium Karbonat (BaCO_3) (ACS reagent grade, MP Biomedicals, LLC), Zinc (Zn) (pro analis, Merck), Dodecyl Benzene Sulfonic Acid (DBSA) (70% wt solution in 2-propanol, pro analis, Aldrich), Es batu, Amonium Peroksidisulfat (pro analis, Merck), Aseton (pro analis, Merck), Amonia (NH_4OH), Alkohol 96%, plat baja grade A tipe AH-36, cat kapal Aghata primer dan thinner.

3.2 Prosedur Kerja

Pada prosedur penelitian ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu preparasi dan pemurnian serbuk batu besi, sintesis Kopresipitasi Fe_2O_3 , sintesis Barium M-Heksaferrit, sintesis polianilin, pelapisan dan karakterisasi.

3.2.1 Preparasi dan Pemurnian Serbuk Batu Besi

Batu Besi Tanah Laut ditumbuk untuk mereduksi ukuran hingga halus dengan menggunakan penumbuk kuningan atau lumpang. Kemudian serbuk batu besi diayak dengan ciever 170

mesh. Lalu dilakukan separasi magnetik untuk memisahkan serbuk batu besi (magnetik) dengan pengotor (non magnetik). Serbuk batu besi yang telah diseparasi dicuci menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan menggunakan media akuades dan alkohol untuk menghilangkan sisa pengotor organik hingga akuades dan alkohol tidak keruh lagi. Langkah selanjutnya serbuk batu besi dikeringkan. Kemudian dilakukan pengujian XRF untuk mengetahui tingkat kemurnian Fe dari serbuk batu besi.

3.2.2 Sintesis Kopresipitasi Fe_2O_3

Proses sintesis kopresipitasi hematit (Fe_2O_3) dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Disiapkan serbuk batu besi (Fe_3O_4)
- Fe_3O_4 dilarutkan dalam HCl 37% diaduk dengan menggunakan magnetik *stirrer* selama 60 menit pada suhu 70°C .
- Larutan yang terbentuk setelah *distirrer* kemudian disaring untuk memisahkan larutan FeCl_2 , FeCl_3 dan H_2O dari serbuk batu besi sisa reaksi.
- Kemudian larutan FeCl_2 , FeCl_3 dititrasi dengan menambahkan larutan Amonia (NH_4OH) secara perlahan hingga mencapai PH 9 agar terbentuk endapan sempurna.
- Endapan dicuci dengan menggunakan akuades hingga mencapai PH 7.
- Endapan dikeringkan pada suhu 100°C dan diperoleh prekursor Fe_2O_3 .
- Preskursor dikalsinasi pada suhu 600°C dengan waktu penahanan selama 5 jam agar diperoleh serbuk kristalin hematit Fe_2O_3 .

3.2.3 Sintesis Barium Heksaferrit

Proses sintesis Barium Heksaferrit (BaM) dilakukan dengan menggunakan metode *solid state wet milling*. Adapun langkah yang dilakukan adalah seperti berikut :

- Disiapkan serbuk Fe_2O_3 , serbuk BaCO_3 dan serbuk Zn.

- b. Proses *milling* dilakukan dengan menggunakan perbandingan antara sampel : alkohol : bola *milling* yaitu 1 : 5/3 : 5 pada kecepatan 150 rpm selama 4 jam dengan waktu henti 30 menit tiap 1 jam.
- c. Serbuk Fe_2O_3 dicampurkan dengan serbuk BaCo_3 dan serbuk Zn sesuai dengan perhitungan stoikiometri ke dalam jar *milling*.
- d. Campuran hasil *wet milling* dikeringkan pada suhu 70°C untuk mendapatkan prekursor BaM.
- e. Prekursor BaM yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu 1100°C dengan rate naik dan rate turun 3°C permenit, waktu penahanan yang digunakan selama 8 jam.
- f. Diperoleh serbuk kristalin BaM.

3.2.4 Sintesis Polianilin (PANi)

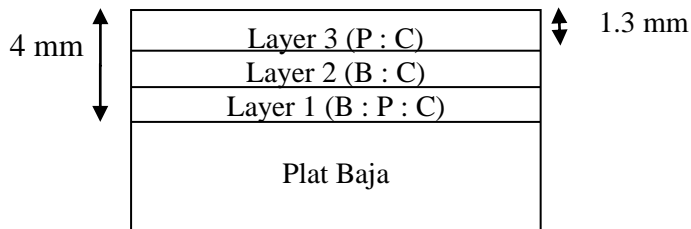
Sintesis PANi dengan menggunakan metode polimerisasi dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. Anilin dan DBSA (*Dodecyl Benzene Sulfonic Acid*) dilarutkan dalam air destilasi/akuades selama 30 menit dengan diaduk menggunakan stirrer hingga warna menjadi putih keruh.
- b. Amonium perokdisulfat (APS) dilarutkan dalam akuades selama 30 menit.
- c. Proses polimerisasi terbentuk dengan menambahkan larutan inisiator (APS) pada larutan (a) pada suhu 0°C secara perlahan.
- d. Dilakukan proses polimerisasi selama 8 jam hingga diperoleh gel yang berwarna hijau tua.
- e. Larutan PANi yang terbentuk disaring dan dicuci dengan menggunakan akuades dan aseton sampai air pencucinya bening, kemudian dikeringkan pada suhu ruang.
- f. Diperoleh serbuk PANi.

3.2.5 Pelapisan Multilayer

Pelapisan Multilayer material pada plat baja kapal *grade A* tipe AH-36 dilakukan sebagai berikut:

- Pengadukan cat kapal Aghata primer dan material RAM dilakukan menggunakan pencampuran mekanik yaitudengan perbandingan fraksi volum pada tabel 3.1. Pengadukan dilakukan selama 5 menit sampai campuran merata dan homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm.
- Adapun jenis layer yang digunakan sebanyak 3 layer dengan ketentuan layer 1 yaitu komposit cat : BaM : PANI, layer 2 komposit cat : BaM, dan layer 3 komposit cat : PANi.
- Campuran dilapiskan pada plat baja kapal *grade A* tipe AH-36 dengan ketebalan total 4 mm. Sehingga tiap layer memiliki ketebalan $\pm 1,3$ mm.
- Baja yang telah dilapisi lapisan pertama dikeringkan selama kurang lebih 1 hari, lalu dilanjut pelapisan layer ke 2 dan berlanjut hingga layer ke 3.
- Desain eksperimen pelapisan multilayer dengan metode tuang (*casting*) sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Desain pelapisan multilayer

Tabel 3. 1 Variasi fraksi volum pada pelapisan multilayer plat baja kapal grade A tipe AH-36

Lapisan	Perbandingan fraksi volum			Jumlah massa (gram)		
	BaM	PANi	Cat	BaM	PANi	Cat
Layer 1	0,01	0,06	0,93	0,4	0,6	10
Layer 2	0,03	-	0,97	1	-	10
Layer 3	-	0,1	0,9	-	1	10

3.3 Karakterisasi Sampel

3.3.1 X-Ray Flourescence (XRF)

Pengujian XRF digunakan untuk mengukur komposisi elemen dan oksida dari suatu material. Sinar X sumber saat mengenai sampel akan dipantulkan oleh atom-atom material. Pancaran sinar X yang dihasilkan dari proses ini disebut analisis *X-Ray Flourescence*.

3.3.2 Difraksi Sinar-X

Untuk mengetahui fasa-fasa yang menyusun Bam dan bahan konduktif PANi dilakukan pengukuran dengan menggunakan difraksi sinar-X menggunakan lampu *philips X'Pert MPD* (Multi Purpose Diffractometer) di laboratorium jurusan Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sumber radiasi yang digunakan adalah Cu dengan panjang gelombang 1,54056 Å dan dioperasikan pada teganga 40 KV serta arus 30 mA. Pola difraksi yang diperoleh dianalisa secara kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan software *MATCH!2* dan *Rietica*.

3.3.3 Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) Untuk mengetahui ikatan-ikatan yang terbentuk dalam material PANi dan BaM. dilakukan pengujian FTIR yang berkaitan dengan energi vibrasional molekul. Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan di Laboratorium instrumen jurusan Kimia ITS. Alat ini memiliki

bilangan gelombang ($V_m=1/\lambda$) yang berada pada kisaran 4000-400 cm^{-1} atau pada panjang gelombang 2,5 μm -25 μm .

3.3.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Untuk mengetahui struktur mikro atau morfologi serta ukuran butir rata-rata dari BaM dan komposit karbon aktif/BaM dilakukan pengujian SEM. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini menggunakan alat SEM EVO MA 10 dengan perbesaran hingga 1.000.000 kali.

3.3.5 Vector Network Analyzer (VNA)

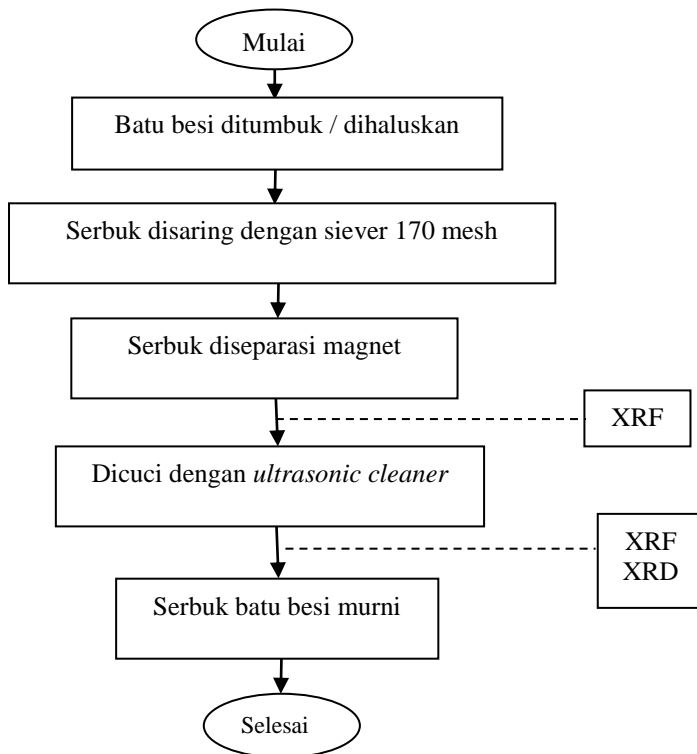
Vector Network Analyzer (VNA) digunakan untuk mengukur gelombang mikro dan parameter *scattering* suatu bahan pada rentang frekuensi 10 MHz sampai 110 GHz. pengukuran VNA secara akurat adalah perbandingan kompleks dari sinyal terpantul (refleksi) dengan sinyal awal (S11) sebagaimana perbandingan antara sinyal tertransmisi (terpancar) dengan sinyal awal (S21). Pengukuran dilakukan di LIPI Bandung dengan menggunakan VNA ADVANTEST tipe-3770.

3.3.6 Four Point Probe (FPP)

Four Point Probe (FPP) digunakan sebagai alat karakterisasi konduktifitas listrik material. Prinsip kerja dari FPP yaitu dengan menggunakan 4 probe sejajar. 2 probe ditengah digunakan untuk mengukur tegangan dan 2 probe ditepi digunakan untuk mengukur arus sampel. Terdapat 2 tipe metode pengukuran dengan FPP yaitu pengukuran resistivitas sampel *bulk* dan *thicksheet*. Pengukuran metode *bulk* diasumsikan bahwa ketebalan sampel harus lebih besar daripada jarak antar probe, sedangkan pengukuran dengan metode *thicksheet* diasumsikan bahwa ketebalan sampel harus lebih kecil daripada jarak antar probe. Pada karakterisasi penelitian ini digunakan metode *thicksheet*.

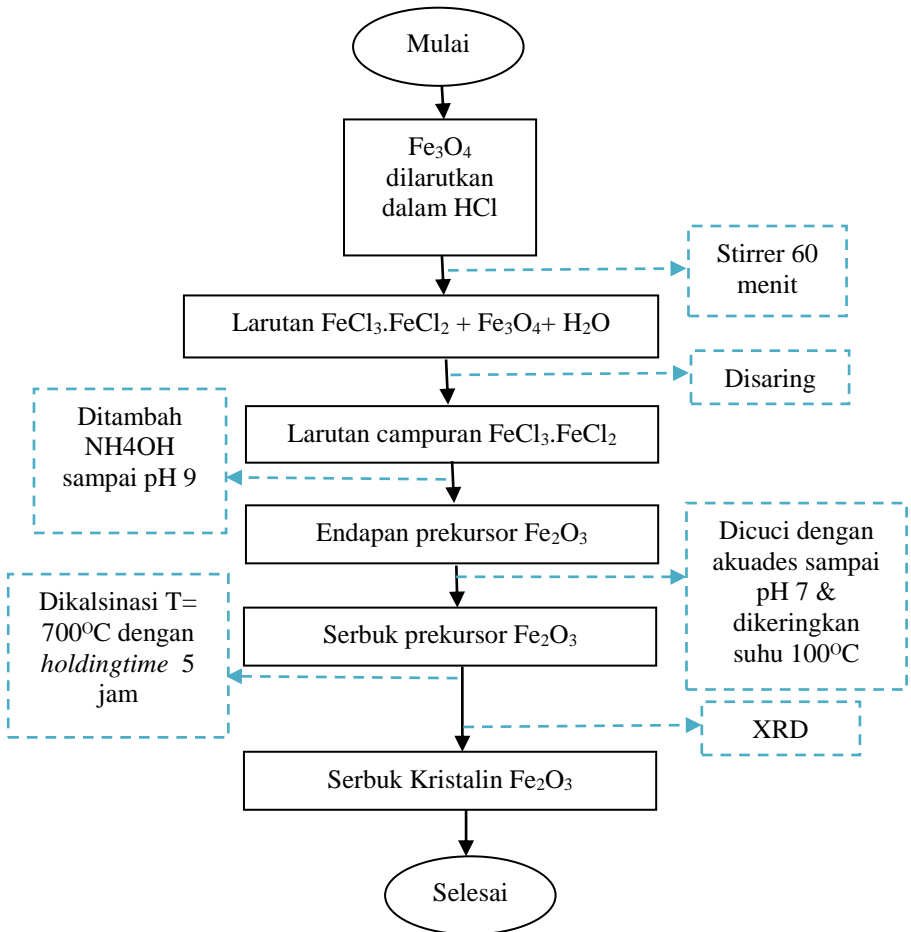
3.4 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Preparasi dan Pemurnian Batu Magnetik



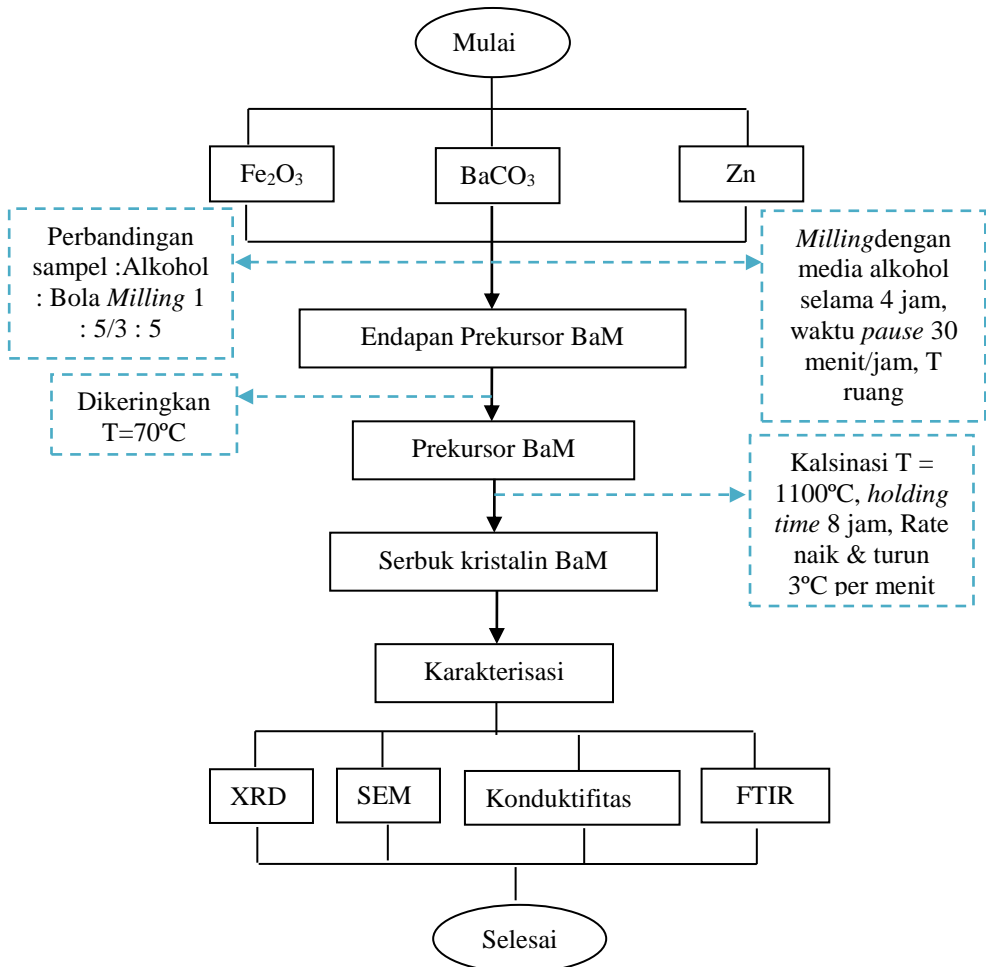
Gambar 3. 2 Diagram alir preparasi dan pemurnian batu magnetik

3.4.2 Sintesis Kopresipitasi Fe_2O_3



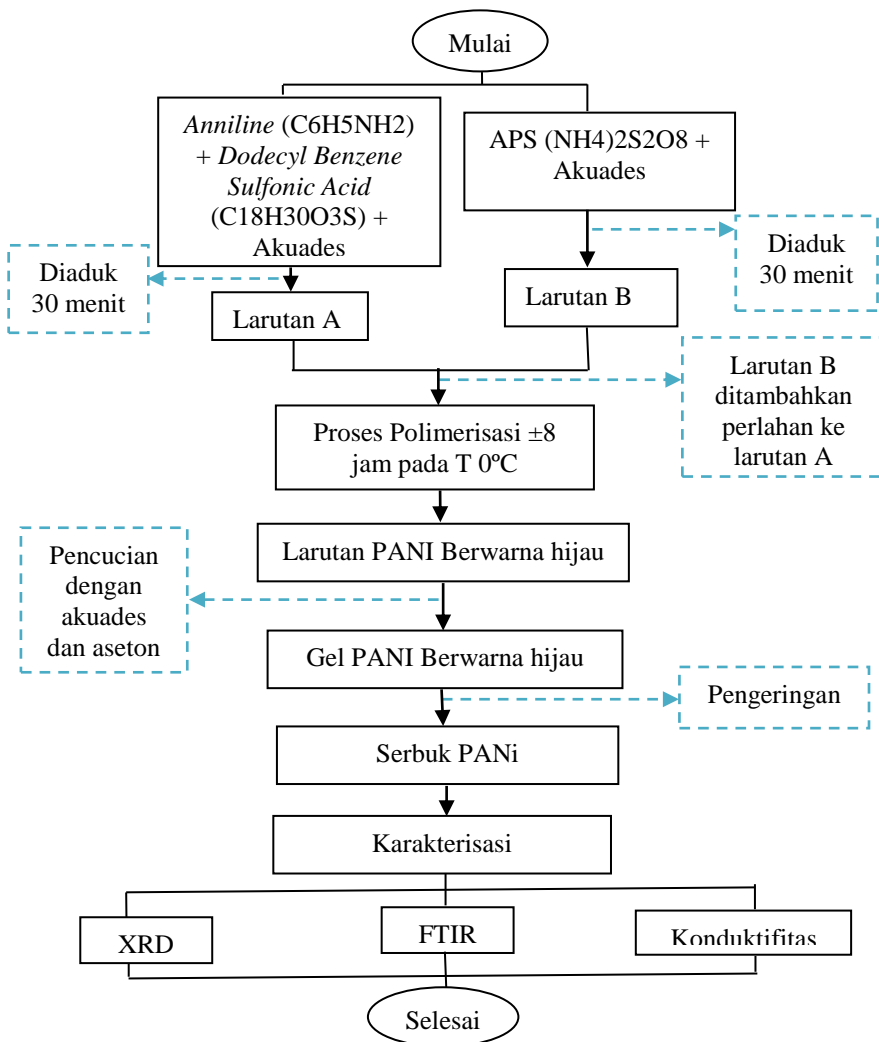
Gambar 3. 3 Diagram alir sintesis kopresipitasi Fe_2O_3

3.4.3 Sintesis Barium Heksaferrit



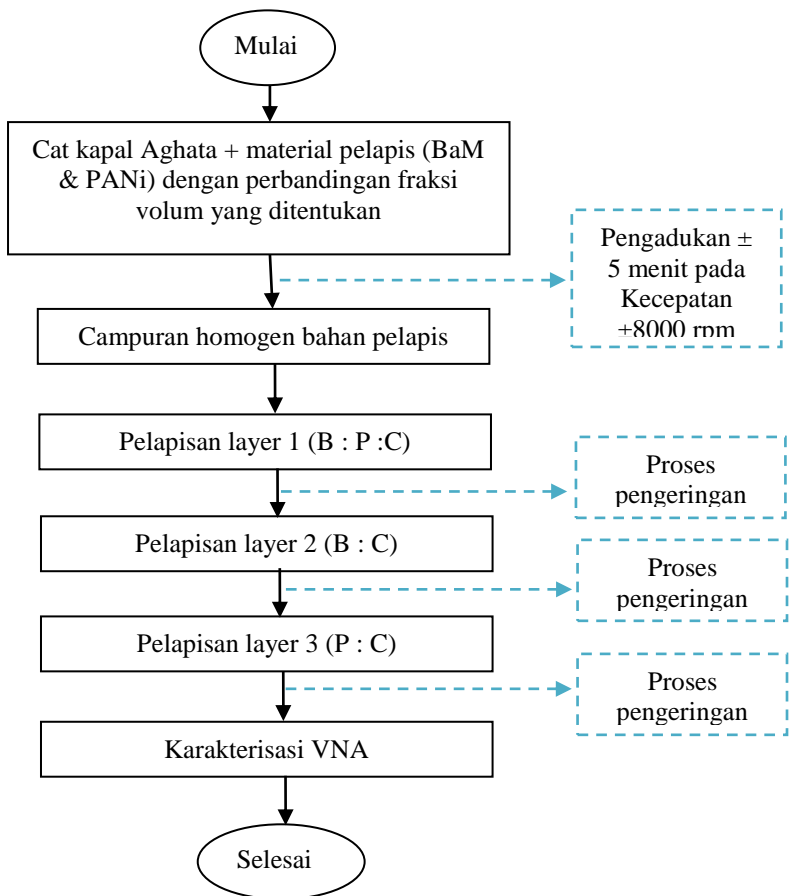
Gambar 3. 4 Diagram alir sintesis BaM

3.4.4 Sintesis Polianilin (PANI)



Gambar 3. 5 Diagram alir sintesis PANi

3.4.5 Pelapisan Material



Gambar 3. 6 Diagram alir pelapisan multilayer

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

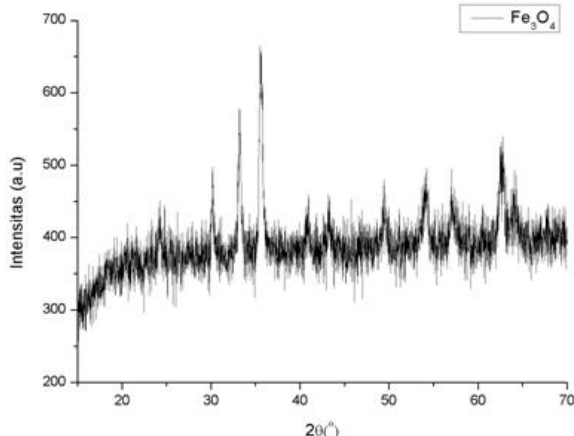
4.1 Preparasi Batuan Serbuk Fe_3O_4

Pembuatan *Radar Absorbing Material* (RAM) menggunakan material batu besi. Sumber Fe pada penelitian ini diperoleh dari batu besi Tanah Laut Kalimantan Selatan. Sebelum dilakukan preparasi serbuk Fe, batu besi dikarakterisasi menggunakan XRF (*X-Ray Flourescence*) untuk mengetahui persentase kandungan unsur dalam batu besi. Kemudian batu besi ditumbuk untuk mereduksi ukuran dan dilakukan separasi magnetik agar material magnetik dan *non* magnetik dapat dipisahkan. Selanjutnya dilakukan pemurnian menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan media akuades 96% untuk menghilangkan pengotor yang tersisa pada serbuk Fe. Tahapan terakhir serbuk Fe dikarakterisasi kembali dengan menggunakan XRF untuk mengetahui persentase Fe setelah tahap pemurnian. Hasil karakterisasi XRF batu besi sebelum dan sesudah pemurnian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data karakterisai batu besi tanah laut menggunakan XRF

Unsur	Sebelum Pemurnian (%)	Sesudah Pemurnian (%)
Fe	91,04 %	98,55 %
Si	3,3 %	-
P	0,2 %	-
Ca	2,46 %	0,35 %
V	0,035 %	-
Cr	0,1 %	0,097 %
Mn	0,31 %	0,26 %
Ni	0,073 %	0,08 %
Cu	0,76 %	0,1 %
Br	0,43 %	-
Rb	0,55 %	0,69 %
La	0,10 %	0,05 %
Eu	0,60 %	-
Os	0,2 %	-
Yb	-	0,08 %

Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwa batu besi tanah laut memiliki kandungan Fe sebesar 91,04% sebelum dilakukan pemurnian. Terdapat kandungan unsur pengotor lain yang beragam dengan persentase yang rendah seperti Si, Ca, Cu, Rb, Br, Mn. Setelah dilakukan pemurnian persentase Fe meningkat menjadi 98,55%. Sedangkan persentase unsur pengotor lainnya semakin menurun bahkan ada unsur yang hilang seperti Si, P, Br, Eu. Besi atau Fe dialam tersedia dalam beberapa bentuk mineral seperti hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), magnetit (Fe_3O_4), dan maghnetit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Ion Fe^{3+} yang dibutuhkan dalam sintesis Barium M-Heksaferrit dapat ditemukan dari mineral magnetit maupun hematit. Sehingga sebelum menggunakan serbuk batu besi yang telah dimurnikan tersebut, harus diketahui fasa apa yang terkandung didalamnya. Untuk mengetahui jenis fasa yang ada dalam serbuk batu besi maka dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) pada sudut $15^\circ\text{-}70^\circ$ dengan sumber radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda=1,54056\text{ nm}$).



Gambar 4. 1 Data karakterisasi XRD batu besi

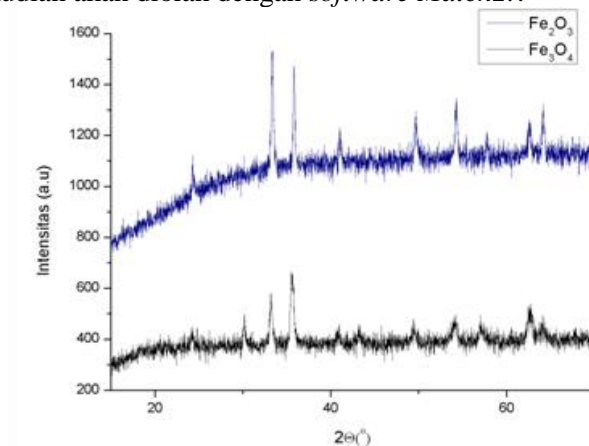
Kemudian hasil karakterisasi fasa tersebut dianalisa dengan menggunakan *software Match2!*. Pengolahan dengan *software Match2!* dilakukan dengan mencocokkan puncak-puncak dari pola difraksi terhadap data base yang telah tersedia. Analisa dengan *software Match2!* termasuk dalam analisa secara

kualitatif. Berdasarkan data [PDF 00-088-0315] dapat diketahui fasa dominan batu besi adalah fasa magnetit (Fe_3O_4) sebesar 100%.

4.2 Hasil Sintesis Hematit Fe_2O_3

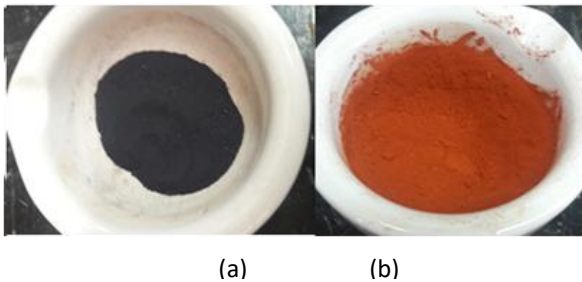
Material hematit Fe_2O_3 digunakan sebagai sumber ion Fe^{3+} dalam pembuatan material BAM. Dalam sintesisnya digunakan metode kopresipitasi karena proses yang mudah dengan waktu yang relatif singkat. Selain itu dengan menggunakan metode kopresipitasi dapat diperoleh material dengan ukuran mikro hingga nano. Metode ini merupakan sintesis senyawa dengan prinsip mengendapkan lebih dari satu substansi secara bersamaan saat melewati titik jenuh. Zat yang sering digunakan untuk pengendapan yaitu hidroksida, karbonat, sulfat dan oksalat.

Proses kopresipitasi Fe_2O_3 ini membutuhkan komponen utama yaitu serbuk Fe_3O_4 . Serbuk Fe_2O_3 dapat diperoleh dengan cara mengkalsinasi prekursor Fe_2O_3 pada temperatur 700°C dengan holding time 5 jam. Metode ini mengacu pada penelitian Umi (2014). Setelah dilakukan proses kalsinasi, maka dilakukan karakterisasi fasa sampel melalui uji XRD. Hasil uji XRD kemudian akan diolah dengan *software Match2!*.



Gambar 4. 2 Analisa Pertumbuhan puncak fasa Fe_2O_3 hasil XRD

Dari hasil pengolahan pola difraksi sinar *X-Ray* dapat diketahui telah terbentuk fasa Fe_2O_3 100% (data [PDF 00-033-0664]). Berdasarkan gambar 4.2 dapat dibandingkan puncak fasa magnetit (berwarna hitam) dengan puncak fasa hematit (berwarna biru), yang mana muncul pertumbuhan puncak baru setelah dilakukan proses kalsinasi. Prekursor Fe_2O_3 sebelum dikalsinasi memiliki warna coklat kehitaman, setelah dilakukan proses kalsinasi terbentuk fasa Fe_2O_3 dengan warna merah pekat.



Gambar 4.3 (a) Prekursor Fe_2O_3 sebelum kalsinasi (b) Serbuk Fe_2O_3 setelah kalsinasi

4.3 Hasil Sintesis Material RAM

4.3.1 Material Magnetik Barium M-Heksaferit

Fe_2O_3 digunakan sebagai sumber ion Fe^{3+} dalam pembuatan Barium M-Heksaferit (BaM). Material BaM digunakan sebagai komponen magnetik dalam material RAM. Sintesis BaM dilakukan melalui metode *solid state reaction*. Metode ini dilakukan karena sintesis yang mudah dan persiapan alat yang sederhana. Secara singkat metode ini merupakan pencampuran secara bersamaan beberapa komponen dalam keadaan padat. Meskipun ukuran partikel yang dihasilkan dari metode ini lebih besar jika dibandingkan dengan metode kopresipitasi, tetapi dengan metode *solid state* diharapkan mampu membentuk partikel dengan tingkat homogenitas yang tinggi.

Variasi konsentrasi doping Zn^{2+} terhadap struktur BaM dilakukan pada $x = 0,3, 0,5, 0,7$, dan $0,9$. Variasi tersebut dilakukan untuk mengetahui hasil daya serapan yang paling baik ketika menggunakan metode *solid state reaction*. Doping Zn^{2+} dilakukan untuk mengganggu sifat kemagnetan BaM agar dapat dirubah dari sifat *hardmagnetik* menjadi *softmagnetik*. Dari hasil sintesis ini maka akan diperoleh struktur BaM seperti dalam tabel 4.2 berikut.

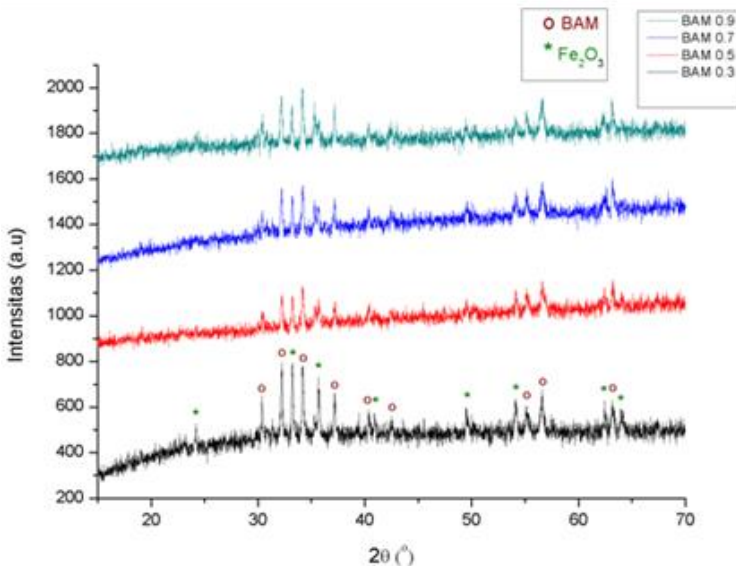
Tabel 4. 2 Rumus Molekul BaM akibat variasi doping Zn

Variasi Doping Zn	Rumus Molekul BaM
$x = 0$	$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$
$x = 0,3$	$\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$
$x = 0,5$	$\text{BaFe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$
$x = 0,7$	$\text{BaFe}_{11,3}\text{Zn}_{0,7}\text{O}_{19}$
$x = 0,9$	$\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$

Fe_2O_3 , BaCO_3 dan Zn di *milling* selama 4 jam pada suhu ruang. Penggilingan selama 4 jam dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan homogenitas dari ketiga komponen tersebut. Selain itu dengan waktu pembebanan yang lebih lama bertujuan untuk mereduksi ukuran material. Semakin kecil ukuran material maka akan bertambah luas permukaan yang ada. Semakin luas permukaan maka interaksi material satu dengan yang lain semakin besar sehingga mempermudah pembentukan prekursor BaM.

Prekursor BaM yang telah terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu 1100°C *holding* 8 jam dengan *rate* naik dan turun 3°C setiap menitnya. Variasi *rate* yang digunakan saat kenaikan maupun penurunan suhu sangat berpengaruh pada keteraturan pembentukan fasa BaM. Selain itu perlakuan ini diberikan untuk menghindari adanya *shock thermal* pada material ketika proses kalsinasi berlangsung. Suhu kalsinasi 1100°C dipilih karena suhu optimal terbentuknya fasa BaM adalah pada rentang suhu 800°C - 1100°C . Pada rentang suhu tersebut memungkinkan terbentuk

fasa primer BaM dan fasa sekunder seperti Fe_2O_3 , BaFe_2O_4 , dan BaO (Pullar, 2012). Penelitian sebelumnya oleh Rahmawati (2016) telah disintesis BaM dengan metode *solid state reaction* doping Zn x 0,3 pada suhu 1000°C *holding* 5 jam, diperoleh fasa primer BaM sebesar 80%. Berdasarkan penelitian tersebut maka dengan meningkatkan suhu kalsinasi dan waktu penahanan diharapkan mampu meningkatkan persentase fasa primer BaM. Untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk dari hasil sintesis RAM maka dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).



Gambar 4. 4 Data karakterisasi XRD BaM x = 0,3, 0,5, 0,7, dan 0,9

Dari gambar 4.4 dapat diketahui bahwa hasil sintesis BaM pada x = 0,3, 0,5, 0,7, dan 0,9 telah berhasil dilakukan. Keempat pola difraksi menunjukkan memiliki fasa primer BaM (○) berdasarkan data [PDF 00-084-0757] dan fasa sekunder Fe_2O_3 (*) berdasarkan data [PDF 00-076-1849]. Analisa lebih lanjut secara kuantitatif dilakukan dengan menggunakan metode *Rietveld* pada *software Rietica*. Melalui *software Rietica* dapat diketahui

persentase komposisi fasa dan juga nilai parameter kisi masing-masing sampel. Analisis dilakukan dengan menggunakan data CIF kode 1008841 untuk fasa BaM dan data CIF kode 15840 untuk fasa Fe_2O_3 . Hasil analisa dengan *software Rietica* ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data persentase komposisi fasa dan parameter kisi BaM

Variasi Doping Zn	Fasa BaM (%)	Fasa Fe_2O_3 (%)	Kisi BaM		Volume Cell satuan
			Kisi a=b (Å)	Kisi c (Å)	
x = 0	43,45	56,55	5,880	23,123	692,4
x = 0,3	95,33	4,67	5,88950	23,25590	698,5
x = 0,5	95,04	4,96	5,88490	23,23930	696,9
x = 0,7	94,67	5,33	5,88250	23,23900	696,4
x = 0,9	95,98	4,02	5,88900	23,26190	698,6

Proses kalsinasi yang dilakukan bertujuan untuk membentuk fasa stabil $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ sebagai fasa primer. Selain itu kalsinasi juga dapat mengurangi impuritas atau pengotor yang masih ada dalam prekursor. Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa pada keseluruhan hasil sintesis terbentuk fasa primer $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dan fasa sekunder Fe_2O_3 . Ketika proses kalsinasi maka prekursor BaM akan mendapatkan energi aktivasi yang lebih besar untuk bervibrasi dan menyusun struktur dalam keadaan yang lebih stabil. Atom-atom dapat berdifusi secara intertisi ataupun secara substitusi satu sama lain hingga tercapai keteraturan dan kestabilan fasa. Penelitian sebelumnya oleh rosyidah (2013) diperoleh komposisi fasa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (tanpa doping) sebesar 43,45% dan fasa Fe_2O_3 sebesar 56,55% menggunakan metode kopresipitasi. Fasa Fe_2O_3 yang terbentuk terlihat lebih dominan jika dibandingkan dengan fasa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Pada sintesis yang dilakukan kali ini diketahui bahwa persentase komposisi fasa $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ yang terbentuk sangat tinggi yaitu melebihi 90%. Komposisi fasa paling besar dimiliki oleh BaM doping x 0,9 yaitu 95,98% dan fasa Fe_2O_3 sebesar 4,02%. Sedangkan komposisi fasa $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ terendah dimiliki oleh

BaM doping x 0,5 yaitu sebesar 94,67 dan fasa Fe_2O_3 sebesar 5,33%.

Barium M-Heksaferit (BaM) telah berhasil disintesis menggunakan metode *solid state reaction* dengan menambahkan ion doping Zn^{2+} . Doping atau substitusi ion Zn^{2+} dapat dilakukan pada ion Fe^{3+} yang mana keduanya memiliki nilai jari-jari ioinik dan konfigurasi elektron yang hampir sama. Fe^{3+} memiliki jari-jari sebesar 0,065 nm dan jari-jari Zn^{2+} sebesar 0,074 nm (Sholihah dan Zainuri, 2012). Berdasarkan nilai tersebut maka memungkinkan terjadinya substitusi ion Zn^{2+} terhadap posisi ion Fe^{3+} yang mengakibatkan terjadinya pergeseran parameter kisi kristal BaM. Meskipun demikian proses doping yang dilakukan tidak merubah struktur kristal BaM.

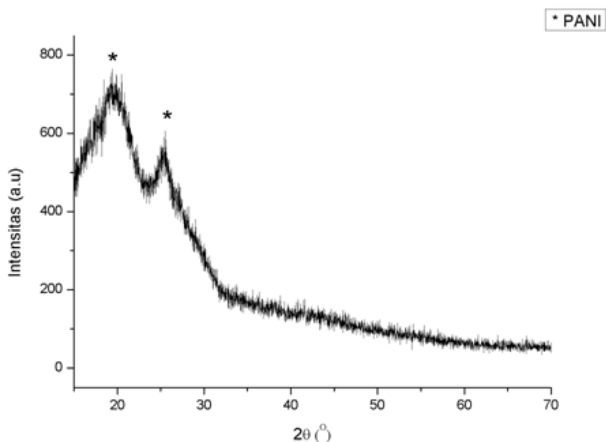
Berdasarkan penelitian Rosyidah (2013) dapat diketahui bahwa pada BaM tanpa doping memiliki parameter kisi $a=b=5,880 \text{ \AA}$ dan $c= 23,123 \text{ \AA}$ seperti yang tertera pada Tabel 4.3. Secara keseluruhan sintesis BaM dengan doping x 0,3, 0,5, 0,7, dan 0,9 telah mengalami pergeseran parameter kisi dari kisi awal BaM tanpa pemberian doping. Adanya pergeseran parameter kisi tersebut dapat menunjukkan bahwa proses doping yang dilakukan telah berhasil. Semakin besar konsentrasi ion Zn^{2+} yang diberikan maka parameter kisi BaM juga semakin besar. Perubahan nilai parameter kisi juga akan berpengaruh pada volume *cell* yang ada. Pada BaM yang telah terdoping mengalami peningkatan volume *cell* dibandingkan BaM tanpa doping.

4.3.2 Material Konduktif Polianilin (PANi)

Polianilin (PANi) disintesis melalui metode polimerisasi. Polimerisasi merupakan reaksi pengubahan monomer menjadi polimer. Sintesis polianilin menggunakan anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) sebagai monomer dan APS (Amonium Perokdisulfat $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) sebagai inisiator. Larutan inisiator dibuat dengan melarutkan APS pada akuades. Polianilin merupakan salah satu bentuk *emeraldin base* (EB). Oleh karena itu untuk merubah *emeraldin base* menjadi material konduktif dibutuhkan doping dengan menggunakan asam kuat (Nuraini dkk.,2014). DBSA (*Dodecyl*

Benzene Sulphonic Acid) merupakan salah satu bentuk asam kuat yang dapat digunakan sebagai doping dan surfaktan. Dengan adanya doping DBSA akan merubah *emeraldin base* menjadi *emeraldin salt* (ES) yang merupakan polianilin konduktif melalui reaksi protonasi. Proton akan ditambahkan ke situ $-N=$, sementara jumlah elektron tetap. Akibatnya terjadi cacat rantai dan terbentuk bipolaron yang dapat menghantarkan arus listrik (Ristiani, 2016).

Polimerisasi dilakukan pada suhu rendah yaitu 0°C . Anilin dan DBSA diaduk dalam tabung erlenmeyer, kemudian ditambahkan larutan APS sedikit demi sedikit hingga larutan perlahan-lahan akan berubah warna menjadi hijau tua. Saat proses polimerisasi berlangsung terjadi beberapa kali tahapan perubahan warna dari kuning, hijau muda dan hijau tua kebiruan. Perubahan warna tersebut menunjukkan terjadinya proses inisiasi antara anilin dan larutan APS. Kemudian akan terjadi proses propagasi, dimana monomer-monomer anilin akan saling berikatan satu sama lain membentuk polianilin. Proses propagasi ini ditandai dengan perubahan warna kuning menjadi hijau muda. Selanjutnya setelah terjadi proses propagasi, akan terjadi proses terminasi. Warna larutan berubah menjadi hijau pekat kebiruan, yang mana menandakan polianilin telah terbentuk sempurna (Sudati, 2013).

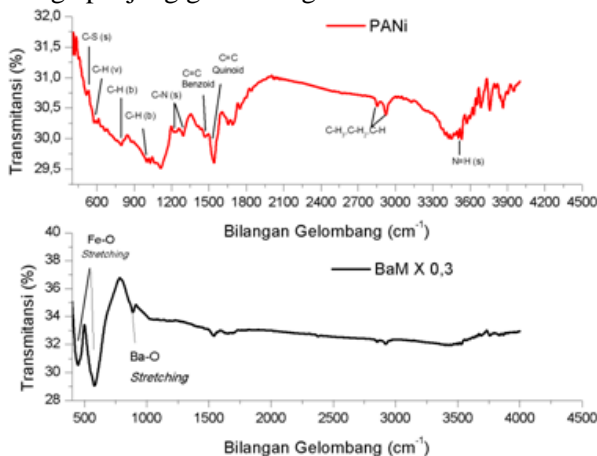


Gambar 4. 5 Data karakterisasi XRD Polianilin

Polianilin sebagai metrial konduktif telah berhasil disintesis dengan metode polimerisasi. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD diperoleh pelebaran 2 puncak utama yaitu pada 2θ 19,4° dan 25,5°. Penelitian oleh Amalia (2014) juga menunjukkan terdapat pelebaran 2 puncak pada 2θ 20,4° dan 25,4°. Kedua puncak tersebut mengkonfirmasi terbentuknya fasa semi kristalin polianilin.

4.4 Analisis Gugus Fungsi RAM

Dalam proses sintesis pembentukkan material RAM setiap molekul saling berinteraksi satu sama lain. Salah satu dampak dari interaksi yang terjadi antara molekul-molekul material adalah terbentuknya ikatan-ikatan tertentu. Ikatan tersebut dapat dikarakterisasi dengan menggunakan analisa gugus fungsional pada hasil uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Metode ini mengacu pada kesesuaian antara vibrasi radiasi inframerah dengan frekuensi vibrasional molekul material. Oleh karena itu untuk mengetahui ikatan gugus fungsi yang terdapat dalam material RAM yaitu BaM dan PANi maka dilakukan uji FTIR dengan range panjang gelombang 400-4000 cm^{-1} .



Gambar 4. 6 Hasil uji spektroskopi FTIR BaM dan PANi

Gambar 4.6 merupakan hasil karakterisasi BaM dan PANi menggunakan spektroskopi FTIR. Grafik analisa FTIR memaparkan hubungan antara tranmitansi pada sumbu y dan bilangan gelombang pada sumbu x. Serapan yang terjadi pada bilangan gelombang tertentu ditunjukkan dengan munculnya lembah maupun puncak pada grafik hasil uji. Hal ini berarti bahwa energi yang terletak pada puncak atau lembah penyerapan sesuai dengan frekuensi getaran molekul material. Hasil analisa gugus fungsi material BaM dan PANi dapat diiamati pada tabel 4.4

Tabel 4. 4 Analisa data fungsi BaM dan PANi

Jenis Ikatan Senyawa	Bilangan Gelombang referensi (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang RAM (cm ⁻¹)	
		PANi	BaM
Fe - O Stretching	437	-	445,57
Fe - O Stretching	575	-	578,66
C - S Stretching	602	597,95	-
C - H Vibration	665	665,46	-
C - H Bending	798	794,7	-
Ba - O Stretching	891	-	889,21
S = O Stretching	1010	999,16	-
C - H Bending	1120	1111,03	-
C - N Stretching	1238	1236	-
C - N Stretching	1296	1292,35	-
C = C Benzoid	1465	1467,88	-
C = C Quinoid	1550	1541,18	-
C - H ₃ , -C - H ₂ , C - H	2852	2852,81	-
C - H ₃ , -C - H ₂ , C - H	2924	2922,25	-
N = H Stretching	3446	3425,69	-
Referensi : (Feng dkk., 2017),(Ristiani dan Zainuri, 2016), dan (Nuraini dkk., 2014)			

Grafik serapan BaM ditunjukkan dengan garis berwarna hitam pada gambar 4.6. Terdapat 2 ikatan molekul utama pada material BaM yaitu ikatan Fe-O *stretching* dan Ba-O *stretching*. Vibrasi dari Fe-O *stretching* atau biasa disebut dengan *metal*

oxide umumnya muncul pada bilangan gelombang dibawah 1000 cm^{-1} . Pada hasil karakterisasi FTIR yang dilakukan diperoleh vibrasi Fe-O *stretching* pada bilangan gelombang 445,57 cm^{-1} dan 578,66 cm^{-1} . Kedua ikatan ini menunjukkan adanya vibrasi antara ion Fe dengan atom oksigen. Selanjutnya terdapat ikatan Ba-O *stretching* pada bilangan gelombang 889,21 cm^{-1} . Ikatan ini menunjukkan adanya interaksi antara Ba dengan atom oksigen. Terbentuknya ikatan Fe-O *stretching* dan Ba-O *stretching* pada posisi bilangan gelombang tersebut mengkonfirmasi telah terbentuknya fasa BaM (Feng dkk., 2017).

Grafik serapan PANi ditunjukkan dengan garis berwarna merah pada gambar 4.6. Untuk mengkonfirmasi terbentuknya fasa konduktif *emeraldin salt* (ES) maka pada spektrum serapan PANi harus terbentuk gugus fungsi utama yaitu C-H, C=C, C-N, dan N=H. Gugus C-H *bending* telah terbentuk pada serapan panjang gelombang 794,7 cm^{-1} dan 1111,03 cm^{-1} . Kemudian pada bilangan gelombang 665,46 cm^{-1} terbentuk gugus C-H *vibration*. Ikatan gugus fungsi selanjutnya pada bilangan gelombang 1467,88 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C=C benzoid yang merupakan karakteristik dari ikatan senyawa aromatik. Selain itu pada bilangan 1541,18 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur C=C quinoid. Serapan pada bilangan gelombang lainnya yaitu pada bilangan gelombang 1236 cm^{-1} dan 1292,35 cm^{-1} yang menunjukkan adanya *stretching* (peregangan) C-N. Adanya serapan S=O *stretching* pada bilangan gelombang 999,16 cm^{-1} mengkonfirmasi bahwa proses doping dengan dengan menggunakan dopan DBSA (*Dodecyl Benzene Sulfonic Acid*) telah berhasil dilakukan (Nuraini dkk., 2014).

4.5 Analisis Sifat Konduktifitas Listrik RAM

Konduktifitas listrik merupakan kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai konduktifitas material maka semakin kecil nilai resistivitas yang dimiliki. Untuk mengetahui nilai konduktifitas listrik suatu material dapat dilakukan dengan beberapa metode salah satunya dengan metode FPP (*Four Point Probe*). FPP menggunakan 4

probe utama, dimana 2 probe pada bagian tepi berfungsi sebagai penginjeksi arus dan 2 probe ditengah sebagai pengukur beda potensial yang timbul. Metode probe ini terbagi menjadi 2 metode yakni *thick sheet* dan *bulk*. Pada penelitian ini akan digunakan pengukuran menggunakan FPP dengan metode *thick sheet*. Pengukuran dilakukan dengan mendesain material uji berupa padatan dengan ketebalan dibawah tebal jarak antar probe.

Material BaM dan PANI yang akan diuji konduktifitas dikompaksi terlebih dahulu dengan ketebalan rata-rata 1,52 mm. Kemudian sampel diuji pada suhu ruang. Berdasarkan nilai konduktifitasnya material dibagi menjadi 3 macam yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Konduktor merupakan jenis material yang baik dalam menghantarkan arus listrik. Isolator merupakan jenis material yang lemah atau tidak dapat dialiri arus listrik. kemudian material semikonduktor merupakan material yang daya hantar listriknya berada diantara konduktor dan isolator. Masing-masing material tersebut memiliki rentang nilai konduktifitas yang berbeda-beda. Material konduktor memiliki nilai konduktifitas pada rentang 10^6 - 10^3 S/m, sedangkan material semikonduktor berada pada rentang 10^3 - 10^{-8} S/m dan material isolator memiliki nilai konduktivitas antara 10^{-8} - 10^{-15} S/m (Irzaman dkk., 2012).

Tabel 4. 5 Data hasil uji konduktifitas listrik BaM dan PANi

Sampel	Konduktifitas (S/m)	Jenis Bahan
BaM x 0,3	$1,79 \times 10^{-3}$	Semikonduktor
BaM x 0,5	$1,83 \times 10^{-3}$	Semikonduktor
BaM x 0,7	$1,96 \times 10^{-3}$	Semikonduktor
BaM x 0,9	$2,09 \times 10^{-3}$	Semikonduktor
PANi	$4,4 \times 10^{-1}$	Semikonduktor

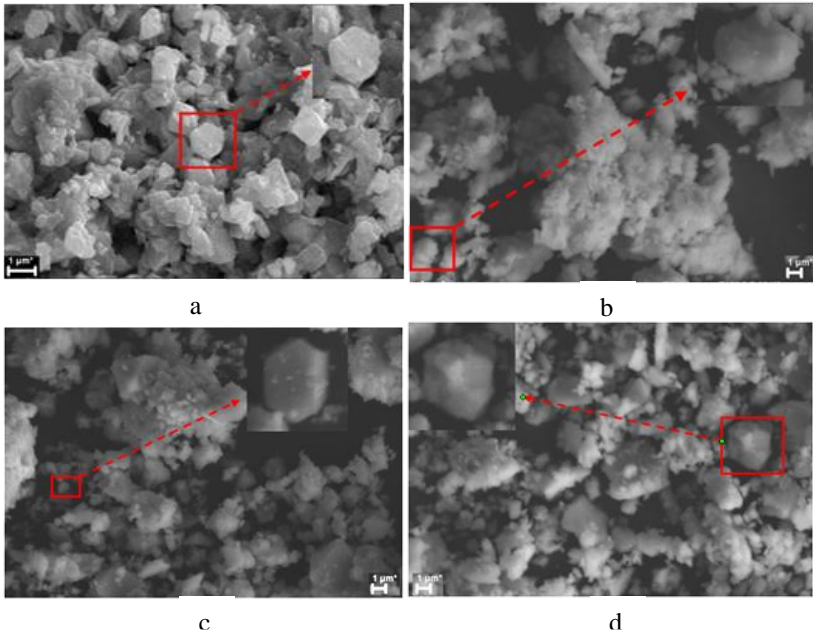
Tabel 4.5 menyajikan data hasil uji konduktifitas listrik BaM dan PANi. Dari hasil tersebut diperoleh nilai konduktifitas BaM keseluruhan $x = 0,3, 0,5, 0,7, \text{ dan } 0,9$ rata-rata $1,91 \times 10^{-3}$ S/m. Berdasarkan nilai tersebut dapat diketahui material BaM termasuk dalam bahan semikonduktor dengan hantaran listrik yang kecil.

Pemberian variasi doping Zn^{2+} pada nilai konduktifitas listrik BaM tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini dapat diamati bahwa semakin besar konsentrasi Zn^{2+} yang diberikan, maka akan terjadi kenaikan pada nilai konduktifitas listrik. Akan tetapi kenaikan yang terjadi tergolong rendah yaitu $\pm 0,04\text{-}0,13$ S/m.

Sedangkan pada material PANi diperoleh nilai konduktifitas sebesar $4,4 \times 10^{-1}$ S/m. Hal ini menjelaskan bahwa material PANi juga termasuk dalam bahan semikonduktor akan tetapi dengan nilai konduktifitas yang lebih besar dibandingkan material BaM. Material PANi merupakan material polimer konduktif yang baik. Pengaruh dopan DBSA diberikan guna meningkatkan sifat konduktif PANi. Akibat doping DBSA tersebut akan menghasilkan cacat rantai berupa pasangan dikation atau disebut bipolaron. Bipolaron ini berfungsi untuk pembawa muatan, sehingga PANi bersifat semakin konduktif (Ristiani dan Zainuri, 2016). Dengan mengkombinasikan material BaM dan PANi sebagai bahan penyerap radar, maka dapat meningkatkan sifat konduktifitas material dalam menghantarkan arus listrik dan meningkatkan daya serapan material RAM terhadap gelombang radar.

4.6 Analisis Struktur Morfologi RAM

Setiap material kristal memiliki struktur morfologi masing-masing yang mencirikan posisi atom-atom penyusun kristal. Untuk menganalisa struktur morfologi dari suatu material dilakukan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Melalui uji SEM maka dapat diketahui struktur mikro dan ukuran partikel dari material Barium M-Heksaferrit. Barium M-Heksaferrit merupakan material uniaxial anisotropi yang memiliki struktur kristal heksagonal. Struktur heksagonal BaM yang teramati dari uji SEM berupa butiran dengan bentuk segienam. Hasil karakterisasi struktur morfologi BaM doping Zn $x = 0,3, 0,5, 0,7$ dan $0,9$ dapat diamati pada gambar 4.7 berikut.

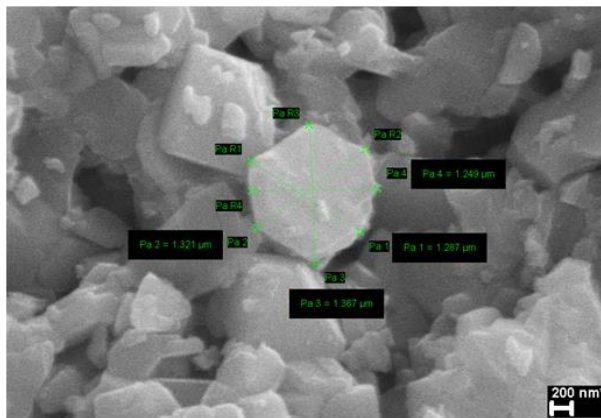


Gambar 4. 7 Hasil Karakterisasi SEM (a) BaM x 0,3, (b) BaM x 0,5, (c) BaM x 0,7, (d) BaM x 0,9

Dari hasil pengamatan tersebut diperoleh struktur morfologi pada BaM doping Zn $x = 0,3, 0,5, 0,7$ dan $0,9$ berupa bentuk heksogonal. Persebaran struktur pada BaM x 0,3 terlihat lebih merata jika dibandingkan dengan struktur BaM yang lain. Pada persebaran struktur BaM x 0,5, 0,7 dan 0,9 tidak merata dan saling menggumpal. Ukuran butir yang terbentuk tidak homogen. Hasil pengamatan SEM menunjukkan struktur morfologi masing-masing BaM cenderung membesar ukurannya dan mengalami aglomerasi. Hal ini dapat terjadi akibat interaksi momen dipol magnetik satu sama lain pada BaM yang mengakibatkan kecenderungan terjadi polaritas sehingga momen dipol saling tarik menarik.

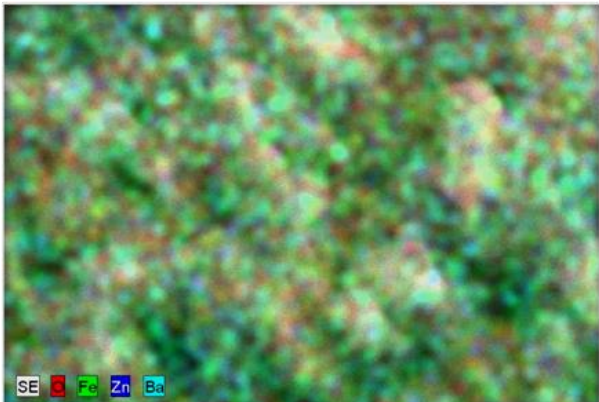
Dari hasil karakterisasi dengan menggunakan SEM, rata-rata ukuran partikel berorde mikro. Sebagai data penunjang maka dilakukan pengukuran besar struktur kristal BaM x 0,3.

Pengukuran dilakukan pada satu titik perbesaran 50.000 kali dengan skala 200 nm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ukuran diagonal BaM x 0,3 sebesar $\pm 1,24 \mu\text{m} - 1,36 \mu\text{m}$. Ukuran butir yang didapat tergolong besar, dikarenakan perlakuan suhu kalsinasi yang diberikan juga tinggi. Selain itu sintesis material dengan menggunakan metode *solid state reaction* akan cenderung diperoleh ukuran partikel yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode kopresipitasi dan *sol gel*. Hasil pengukuran kristal heksagonal BaM x 0,3 ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Hasil pengukuran butiran BaM x 0,3

Selain itu untuk mengetahui persebaran elemen penyusun suatu material dapat dilakukan karakterisasi lebih lanjut dengan SEM-EDX (*Energy Dispersif X-Ray*). Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi SEM-EDX pada BaM x 0,3 yang ditunjukkan pada gambar 4.8. SEM-EDX juga memberikan informasi mengenai persentase masing-masing elemen penyusun BaM x 0,3 yang ditunjukkan oleh tabel 4.6. Nilai persentase hasil pengukuran dengan SEM-EDX dapat dibandingkan dengan nilai persentase hasil perhitungan untuk mengetahui keakuratan data hasil uji.



Gambar 4. 9 Hasil pengamatan SEM-EDX BaM x 0,3

Elemen penyusun BaM terdiri dari unsur Fe, Ba, Zn, dan O. Dari gambar 4.8 dapat diketahui persebaran keempat unsur tersebut. Dimana unsur Fe digambarkan dengan warna hijau, unsur Ba dengan warna biru muda, unsur Zn dengan warna biru tua dan unsur O dengan warna merah. Dapat diamati unsur Zn telah tersebar merata, hal ini mengindikasikan substitusi atau doping ion Zn^{2+} telah berhasil dilakukan secara merata pada ion Fe^{3+} . Masing-masing unsur tersebut memiliki persentase yang berbeda-beda dalam menyusun material BaM.

Tabel 4. 6 Persentase persebaran elemen penyusun BaM

Atom	% atom norm	% Error
Fe	35,03	1,6
O	61,30	4,1
Ba	1,80	0,3
Zn	1,87	0,2
Total	100	

Dari Tabel 4.6 dapat diketahui persentase masing-masing elemen dalam satu unit *cell* BaM. Setiap satu unit *cell* dalam BaM doping x 0,3 terisi oleh 35,03% elemen Fe, kemudian elemen yang paling dominan yaitu elemen O sebesar 61,30%. Selanjutnya unsur Ba dan Zn memiliki persentasi yang hampir sama yaitu

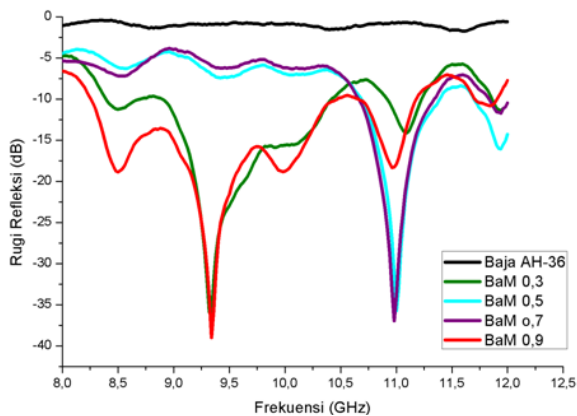
1,80% dan 1,87%. Berdasarkan perhitungan analitik mengacu jumlah atom pada satu unit *cell* satu unit BaM x 0,3 ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$) diperoleh persentase atom Fe 36,56%, atom O 59,38%, atom Ba 3,12% dan atom Zn 0,94%. Hasil pengukuran dengan SEM-EDX dan secara perhitungan tersebut menunjukkan persentase yang hampir sama antara atom Fe, O, Ba dan Zn. Perbedaan persentase yang terjadi dapat disebabkan adanya fase lain yaitu fase hematit (Fe_2O_3). Berdasarkan karakterisasi dengan SEM-EDX tersebut dapat dipastikan bahwa telah terbentuk fase $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ pada masing-masing sampel BaM x = 0,3, 0,5, 0,7 dan 0,9.

4.7 Analisi Sifat Penyerapan RAM

Material RAM (BaM dan PANi) yang disintesis pada penelitian ini akan digunakan sebagai *filler* pada material matrik cat kapal aghata premier. Cat kapal digunakan sebagai pengikat *filler* pada material komposit yang dibuat. Material komposit yang digunakan dalam pelapisan ini termasuk dalam material komposit isotropik. Komposit isotropik merupakan material yang penguatannya ke segala arah dan terdispersi seragam atau merata. Terdapat 3 macam pelapisan material komposit yaitu *single layer*, *double layer* dan *multilayer*. Pada pelapisan ini akan digunakan pelapisan *multilayer*. Ketebalan 4 mm dipilih dalam pelapisan ini untuk memenuhi seperempat ($1/4$) panjang gelombang sebagai syarat penyerapan yang optimal pada metode *Dallenbach layer* (Yuzcelik, 2003).

Pada pelapisan *multilayer* yang digunakan dibagi menjadi 3 *layer* dimulai dari lapisan paling bawah yaitu pada *layer* 1 terdiri dari komposit BaM/PANi/cat, *layer* 2 terdiri dari komposit BaM/cat dan *layer* 3 terdiri dari komposit PANi/cat. Sehingga masing-masing *layer* memiliki ketebalan $\pm 1,3$ mm. Penambahan *layer* dapat memperbesar kemampuan serapan gelombang elektromagnetik. Pada pelapisan *multilayer* memiliki serapan yang lebih baik jika dibandingkan dengan serapan oleh pelapisan *single layer* dan *double layer*. Hal ini dikarenakan jika gelombang elektromagnetik yang mengenai *layer* 3 tidak diserap sempurna

maka gelombang EM yang menembus lapisan komposit RAM masih dapat diserap oleh *layer 2* dan *layer 1*. Karakterisasi penyerapan gelombang elektromagnetik pada penelitian dilakukan dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) pada rentang X-Band yaitu 8,2-12,4 GHz. Secara umum *microwave band* memiliki karakteristik pita-pita tertentu dengan kegunaan yang berbeda-beda. Rentang *X-Band* merupakan daerah yang biasa digunakan untuk operasi gelombang mikro pada pesawat ataupun kapal selam di bidang militer.



Gambar 4.10 Grafik rugi refleksi pada frekuensi *X-Band*

Pada gambar 4.9 diatas menunjukkan grafik rugi refleksi pelapisan *multilayer* terhadap frekuensi rentang *X-Band*. Grafik dengan warna hitam merupakan hasil penyerapan dari baja *grade* tipe AH-36 tanpa dilapisi komposit RAM. Sedangkan grafik dengan warna hijau, biru muda, ungu, dan merah berturut-turut merupakan grafik penyerapan dari BaM $x = 0,3, 0,5, 0,7$, dan $0,9$. Grafik yang terbaca merupakan perbandingan antara nilai frekuensi ukur pada subu x dan besar nilai rugi refleksi pada sumbu y . Serapan yang terjadi ditunjukkan dengan munculnya lembah-lembah penyerapan. Semakin dalam dan lebar lembah serapan yang terbentuk, maka semakin baik pula kemampuan penyerapan material RAM yang digunakan.

Tabel 4. 7 Nilai rugi refleksi komposit RAM

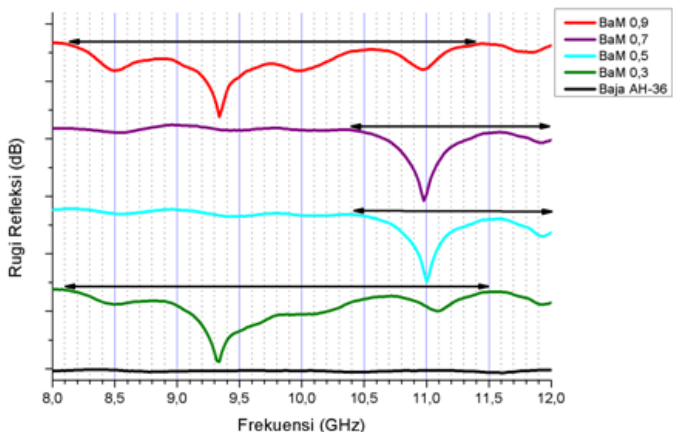
Sampel	Rugi Refleksi (dB)	Frekuensi (GHz)	Koefisien Refleksi (Γ)	Energi Serap (%)
Baja	-0,809	9,5	0,911	8,89
BaM	-36,156	9,33	0,015	98,44
0,3/PANi				
BaM	-35,755	11	0,016	98,37
0,5/PANi				
BaM	-36,963	10,98	0,014	98,58
0,7/PANi				
BaM	-39,004	9,34	0,011	98,87
0,9/PANi				

Dari tabel 4.7 tersebut dapat diketahui nilai *refelction loss* dari masing-masing material. Pada material baja *grade* tipe AH-36 tanpa dilapisi material RAM diperoleh nilai rugi refleksi sebesar -0,809 dB. Dengan nilai tersebut dapat diketahui daya serapan yang kecil yaitu 8,89%. Sehingga hampir 90% gelombang mikro yang diberikan pada baja tersebut dipantulkan kembali ke *reciever*. Setelah baja dilapisi material RAM dengan pelapisan *multilayer* terjadi peningkatan nilai rugi refleksi yang signifikan. Nilai rugi refleksi terbesar diperoleh pada baja yang dilapisi komposit $\text{BaFe}_{11,1}\text{Zn}_{0,9}\text{O}_{19}$ yaitu sebesar -39,004 dB. Dengan nilai rugi refleksi tersebut hampir 98,87% gelombang mikro yang dipancarkan diserap oleh material RAM. Nilai rugi refleksi baja yang dilapisi $\text{BaFe}_{11,3}\text{Zn}_{0,7}\text{O}_{19}$ dan $\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$ memiliki nilai rugi fleksi yang hampir sama yaitu sebesar -36,963 dB dan -36,156 dB. Kemudian nilai rugi refleksi terendah yaitu -35,755 dB dapat diamati pada hasil uji baja yang dilapisi $\text{BaFe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$. Secara keseluruhan penambahan doping ion Zn^{2+} pada BaM dapat meningkatkan daya serapan material RAM. Hal ini ditunjukkan pada tabel 4.7 yang mana rugi refleksi dari pelapisan *multilayer* BaM doping x 0,3, 0,7, dan 0,9 mengalami peningkatan nilai rugi refleksi. Sedangkan pada pelapisan *multilayer* BaM doping 0,5 memiliki serapan yang paling kecil. Hal ini disebabkan BaM 0,5 memiliki komposisi fasa $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang paling rendah diantara BaM 0,3, 0,7 dan 0,9. Secara

otomatis pada BaM 0,5 cenderung memiliki fasa sekunder Fe_2O_3 yang lebih besar dibanding BaM yang lain. Berdasarkan penelitian Amalia (2014) Fe_2O_3 juga dapat digunakan sebagai material anti radar, akan tetapi kemampuan serapan Fe_2O_3 bekerja secara optimal pada frekuensi dibawah rentang X-Band. Akan tetapi secara keseluruhan dari hasil nilai rugi refleksi tersebut sekitar 98,44-98,58% gelombang mikro berhasil diserap oleh material RAM.

Rugi refleksi merupakan suatu besaran yang mendefinisikan hilangnya energi gelombang elektromagnetik setelah mengenai suatu material (energi terserap). Semakin besar nilai minimum rugi refleksi, maka kemampuan serapan material semakin baik. Koefisien refleksi (Γ) merupakan rasio perbandingan antara gelombang pantul terhadap gelombang datang. Apabila koefien refleksi (Γ) memiliki nilai 0 maka dapat diartikan bahwa impedansi masukan yang diberikan cocok dengan impedansi luaran yang dihasilkan dan tidak ada gelombang yang dipantulkan oleh material. Pada penelitian ini rata-rata dari koefiesian refleksi yang diperoleh $\pm 0,014$ yang berarti hampir semua energi gelombang diserap oleh material. Jika masih ada energi gelombang yang dipantulkan sangatlah lemah dan sulit ditangkap kembali oleh *reciever*.

Material penyerap radar yang baik adalah material yang tidak hanya memiliki nilai rugi refleksi besar, akan tetapi juga memiliki pita penyerapan yang lebar. Semakin banyak lembah penyerapan yang terbentuk berarti serapan material RAM semakin bagus. Hal ini dikarenakan material RAM dapat melakukan penyerapan dalam banyak range frekuensi. Desain *multilayer* yang digunakan pada baja *grade* tipe AH-36 selain dapat digunakan untuk meningkatkan nilai rugi refleksi juga dapat digunakan untuk memperlebar pita penyerapan yang terjadi pada rentang X-Band.



Gambar 4. 11 Pelebaran pita frekuensi oleh pelapisan material RAM

Adapun hasil karakterisasi pelebaran pita penyerapan komposit RAM dapat diamati pada gambar 4.10. Dari gambar tersebut dapat diamati secara langsung perbedaan pita penyerapan pada BaM doping x 0,3, 0,5, 0,7 dan 0,9. Hasil analisa data pelebaran pita penyerapan komposit RAM ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 4. 8 Data analisa pelebaran pita penyerapan komposit RAM

Material	Rugi Refleksi (dB)	Pita Penyerapan (GHz)	Lebar pita penyerapan (GHz)
BaM 0,3/PANi	-36,156	8,1-11,5	3,4
BaM 0,5/PANi	-35,755	10,4-12	2,6
BaM 0,7/PANi	-36,963	10,4-12	2,6
BaM 0,9/PANi	-39,004	8,2-11,4	3,2

Pada penelitian ini pelapisan *multilayer* telah mencakup penyerapan pada rentang *X-Band* yaitu 8,2-12,4 GHz. Masing-masing material komposit memiliki frekuensi serapan yang besar.

Komposit dengan pita penyerapan paling lebar terdapat pada komposit BaM x 0,3/PANi yaitu dengan pelebaran pita 3,4 GHz dan memiliki frekuensi serapan maksimal pada frekuensi 9,33 GHz. Selanjutnya komposit dengan pita penyerapan terbesar kedua yaitu komposit BaM x 0,9/PANi dengan pelebaran pita 3,2 GHz pada frekuensi serap maksimal pada 9,34 GHz. Sedangkan untuk material komposit BaM x 0,5/PANi dan BaM x 0,7/PANi memiliki lebar pita serapan yang sama yaitu 2,6 GHz dengan masing-masing sampel memiliki penyerapan maksimal pada 11 GHz dan 10,98 GHz.

Mekanisme penyerapan pada gelombang elektromagnetik dapat dijelaskan melalui dua tinjauan yaitu aspek magnetik dan aspek konduktif. Material RAM yang disusun pada penelitian ini terdiri dari material magnetik BaM dan material konduktif PANi. Kedua sifat ini menyebabkan gelombang elektromagnetik yang menembus material RAM kehilangan energi (Feng dkk., 2017). Pertama ketika gelombang elektromagnetik mengenai material konduktif yaitu PANi maka medan listrik dari gelombang tersebut akan diserap dan menimbulkan adanya gaya coulomb. Bipolaron atau pembawa muatan yang terdapat dalam PANi akan bergerak dan menghasilkan arus listrik. Arus listrik yang timbul akan mengakibatkan adanya konversi energi termal (energi panas) dan energi induksi kinetik. Induksi kinetik yang terjadi berkaitan dengan timbulnya medan magnet. Medan magnet yang timbul dari material konduktif tersebut akan diperkuat oleh material magnetik yang dimiliki RAM. Kedua medan magnet tersebut akan saling bersuperposisi destruktif dengan medan magnet yang diberikan oleh gelombang elektromagnetik. Sehingga medan magnet akan saling meniadakan satu sama lain. Akibatnya gelombang elektromagnetik terserap sempurna oleh material RAM, adapun gelombang yang dipantulkan sangatlah lemah dan sulit untuk ditangkap kembali oleh *receiver*.

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Study Penyerapan Gelombang Elektromagnetik Rentang X-Band Dengan Menggunakan Penyerap PANi Konduktif Dan Barium M-Heksaferrit Terdoping Ion Zn ($0.3 \leq X \leq 0.9$)” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Material Barium M-Heksaferrit dengan variasi doping Zn^{2+} telah berhasil disintesis menggunakan metode *solid state reaction*, diperoleh komposisi fasa primer BaM dari nilai tertinggi ke terendah berturut-turut yaitu BaM x 0,9 = 95,98%, BaM x 0,3 = 95,33%, BaM x 0,5 = 95,04%, BaM x 0,7 = 94,67%
2. Dengan penambahan konsentrasi doping Zn^{2+} tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan sifat kelistrikan material BaM yaitu sebesar $\pm 1,91 \times 10^{-3} \text{ S/m}$ yang mana termasuk dalam material semikonduktor
3. Penambahan doping Zn^{2+} dengan desain pelapisan *multilayer* diperoleh peningkatan nilai negatif rugi refleksi tertinggi ke terendah yaitu BaM x 0,9 = -39,004 dB, BaM x 0,7 = -36,963 dB, BaM x 0,3 = -36,156 dB dan BaM x = 0,5 -35,755 dB, sedangkan pelebaran pita penyerapan yang diperoleh dengan nilai tertinggi ke terendah yaitu BaM x 0,3 = 3,4 dB, BaM x 0,9 = 3,2 dB, BaM x = 0,5 dan 0,7 = 2,6 dB.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut, di antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada variasi struktur pelapisan multilayer, karena sangat berpengaruh terhadap rugi refleksi gelombang elektromagnetik
2. Perlu dilakukan karakterisasi dengan menggunakan VSM (*Vibrating Sample Megnetomer*) agar dapat diketahui sifat kemagnetan material BaM berdasarkan variasi doping
3. Perlu dilakukan variasi jenis material konduktif berbahan alam seperti karbon aktif dari tempurung kelapa, kulit singkong, bambu dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustianto, R., Widyastuti, W., 2014. Fraksi Mol Dan Variasi Ph Terhadap Sifat Magnetik Dan Struktur Mikro Barium Heksaferrit Dengan Metode Sol-Gel Auto Combustion. J. Tek. ITS 3, F108–F112.
- Das, S., Nayak, G.C., Sahu, S.K., Routray, P.C., Roy, A.K., Baskey, H., 2014. Microwave Absorption Properties of Double-Layer RADAR Absorbing Materials Based on Doped Barium Hexaferrite/ TiO_2 /Conducting Carbon Black. J. Eng. 2014, 1–5. doi:10.1155/2014/468313
- Efhana, D.P., Arifin, D.E.S., Viantyas, D., Fitriana, F., Abdillah, S., Zainuri, M., 2013. PEMBUATAN PELAPIS PENYERAP GELOMBANG MIKRO BERBASIS M-HEXAFERRITE $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ DARI PASIR ALAM PADA KABIN PESAWAT. Program Kreat. Mhs.-Penelit.
- Fadzidah, M.I., Hashim, M., Ismayadi, I., Idza, I.R., Norailiana, A.R., Rodziah, N., Hapishah, A.N., Shafie, M.S.E., Bahmanrokh, G.H., Masni, M., others, 2014. Synthesis and characterization of barium-hexaferrite nanoparticles for microwave absorption. Solid State Sci Technol 22, 12–20.
- Feng, H., Bai, D., Tan, L., Chen, N., Wang, Y., 2017. Preparation and microwave-absorbing property of EP/ $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ /PANI composites. J. Magn. Magn. Mater. 433, 1–7. doi:10.1016/j.jmmm.2016.12.118
- Gustomo, F., Suwadi, S., 2013. Analisa Penggunaan Sinyal Radar Bentuk Pulsa dan Gelombang Kontinyu untuk Target Bergerak dengan Model Clutter Terdistribusi Rayleigh. J. Tek. ITS 2, A235–A240.
- Irzaman, I., Erviansyah, R., Syafutra, H., Maddu, A., Siswadi, S., 2012. Studi Konduktivitas Listrik Film Tipis $\text{Ba}_{0.25}\text{Sr}_{0.75}\text{TiO}_3$ Yang Didadah Ferium Oksida (BFST)

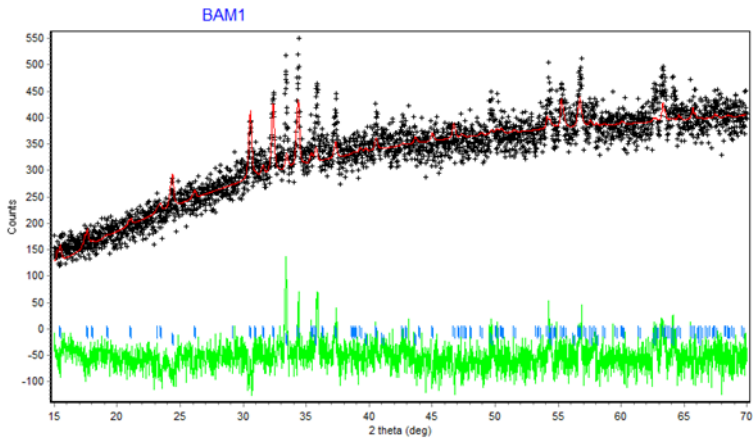
- Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition. Berk. Fis. 13, 33–38.
- Mihardi, I., 2008. Karakteristik Optik dan Listrik Polianilin yang di-Doped HCl. Inst. Pertan. Bogor Bogor.
- Morgan, Racula, 2003. EM4: Magnetic Hysteresis 1–12.
- Nuraini, U., Amalia, L., Rosyidah, K.C., Zainuri, M., 2014. Crystal Structure and Magnetic Properties of Zn doped Barium M-Hexaferrite. J. Fis. Dan Apl. 10, 136–138.
- Pangga, D., 2011. Sintesis dan Karakterisasi Struktur Barium M-Heksaferit ($0 < x < 1$). Institut teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pullar, R.C., 2012. Hexagonal ferrites: A review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics. Prog. Mater. Sci. 57, 1191–1334. doi:10.1016/j.pmatsci.2012.04.001
- Rachmawati, S., Zainuri, M., 2016. Pelapisan Single Layer Penyerap Gelombang Radar Dispersi Barium M-Heksaferit/Polianilin pada Rentang X-Band. J. Sains Dan Seni ITS 5.
- Ristiani, D., Zainuri, M., 2016a. Desain Double Layer Radar Absorbing Materials dengan Metode Dallenbach Layer Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin. J. Sains Dan Seni ITS 5.
- Ristiani, D., Zainuri, M., 2016b. Desain Double Layer Radar Absorbing Materials dengan Metode Dallenbach Layer Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin. J. Sains Dan Seni ITS 5.
- Ristiani, D., Zainuri, M., 2016c. Desain Double Layer Radar Absorbing Materials dengan Metode Dallenbach Layer Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin. J. Sains Dan Seni ITS 5.
- Ristiani, D., Zainuri, M., 2016d. Desain Double Layer Radar Absorbing Materials dengan Metode Dallenbach Layer Berbasis Bahan Magnetik Alam Tanah Laut dan Polianilin. J. Sains Dan Seni ITS 5.

- Saville, P., 2005. Review of radar absorbing materials. DTIC Document.
- Setianingsih, E., others, 2014. KARAKTERISTIK STRUKTUR, SIFAT OPTIK DAN SIFAT LISTRIK FILM TIPIS POLIANILIN DOPING H_2SO_4 YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE SPIN COATING. Universitas Negeri Semarang.
- Sholihah, F.R., Zainuri, M., 2012. Pengaruh Holding Time Kalsinasi Terhadap Sifat Kemagnetan Barium M-Hexaferrite ($BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$) dengan Ion Doping Zn. J. Sains Dan Seni ITS 1, B25–B29.
- Soehada, A.M., Sebayang, K., Sudiro, T., Kurniawan, C., Sebayang, P., 2014. EFFECT OF Mn-Ti IONS DOPING AND SINTERING TEMPERATURE ON PROPERTIES OF BARIUM HEXAFERRITE 15.
- Sudati, A. wira, 2013. Pelapisan Material Komposit PANi/BaM berstruktur core shell sebagai Radar Absorbing material (RAM) pada Baja Grade A tipe AH-36. Institut teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- windu ganar prasongko priyono, 2013. Pembuatan Material Magnetik Komposit $BaFe_9Mn_{0,75}Ti_{1,5}O_{19}$ / Elastomer untuk Aplikasi Penyerap Gelombang Elektromagnetk. 2013 21, 19.
- Yuliana, Zainuri, 2011. Sintesis dan Karakterisasi Struktur Barium M-Heksaferrit yang di Doping Zn dengan Variasi Temperatur Pemanasan dan Konsentrasi Ion Dopan. Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya 5–49.
- Yusro, K., Zainuri, M., 2016. Karakterisasi Material Penyerap Gelombang Radar Berbahan Dasar Karbon Aktif Kulit Singkong dan Barium M-Heksaferit. J. Sains Dan Seni ITS 5.
- Yuzcelik, C.K., 2003. Radar absorbing material design. DTIC Document.

“ halaman ini sengaja dikosongkan ”

LAMPIRAN A
Penghalusan *Rietveld* dengan *software Rietica*

1. Pola penghalusan BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O₁₉ (BaM x 0,3)



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES: WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:

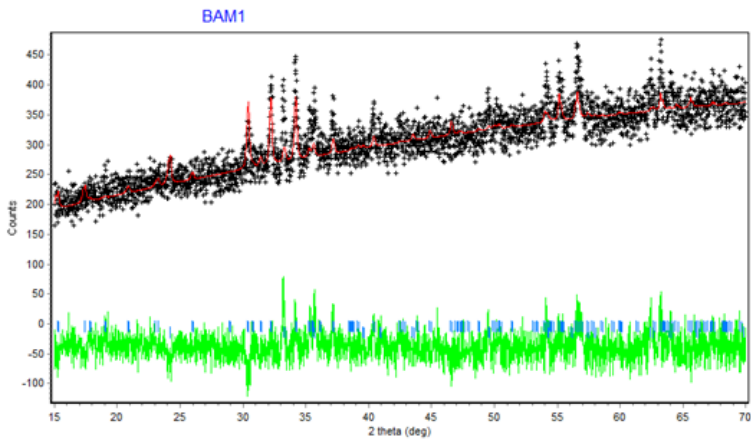
PHASE 1:	95.33	4.41	93.91	4.32
PHASE 2:	4.67	0.43	6.09	0.56

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	5.65	7.42	5.52	1.217	1.293	3276
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.6081E+05	0.1076E+07	0.1070E+07	0.1076E+07	0.1809E+01	0.5628E+18	

DERIVED BRAGG R-FACTOR = 4.57

DERIVED BRAGG R-FACTOR= 9.97

2. Pola penghalusan BaFe_{11,5}Zn_{0,5}O₁₉ (BaM x 0,5)



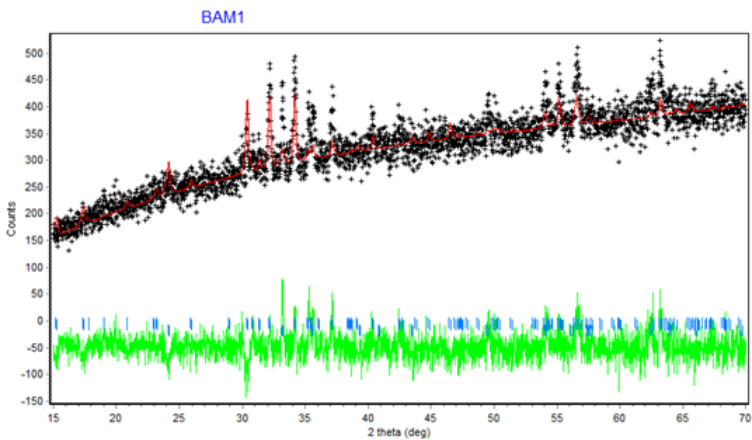
MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:		
PHASE 1:	95.04	4.85	93.53	4.75	
PHASE 2:	4.96	0.51	6.47	0.66	

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	5.62	7.17	5.73	1.380	1.440	3277
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.5602E+05	0.9964E+06	0.9913E+06	0.9964E+06	0.1565E+01	0.8263E+17	

DERIVED BRAGG R-FACTOR= 5.39

DERIVED BRAGG R-FACTOR= 6.99

3. Pola penghalusan BaFe_{11,3}Zn_{0,7}O₁₉ (BaM x 0,7)



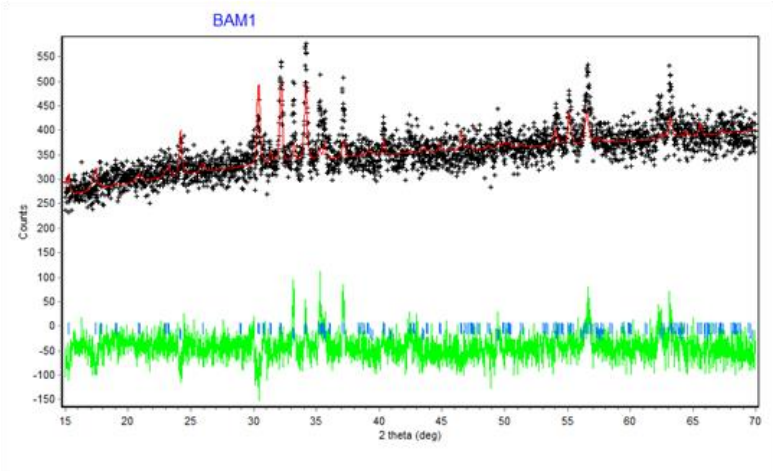
MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:				WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:	
PHASE 1:	94.67	4.19		93.06	4.10
PHASE 2:	5.33	0.45		6.94	0.58

+-----+						
Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
+-----+						
1	5.48	7.10	5.58	1.289	1.346	3276
+-----+						
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSSQ	GOF	CONDITION	
+-----+						
0.5775E+05	0.1053E+07	0.1048E+07	0.1053E+07	0.1620E+01	0.5221E+18	
+-----+						

DERIVED BRAGG R-FACTOR= 5.68

DERIVED BRAGG R-FACTOR = 7.58

4. Pola penghalusan BaFe_{11,1}Zn_{0,9}O₁₉ (BaM x 0,9)



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:		
PHASE 1:	95.98	3.95	94.74	3.88	
PHASE 2:	4.02	0.36	5.26	0.47	

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	5.38	6.94	5.28	1.219	1.283	3276
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.6306E+05	0.1173E+07	0.1167E+07	0.1173E+07	0.1723E+01	0.7858E+18	

DERIVED BRAGG R-FACTOR = 6.02

DERIVED BRAGG R-FACTORFase 2 = 6.70

LAMPIRAN B

Data ICSD BaM (BaFe₁₂O₁₉)

```

#$Date: 2015-01-27 21:58:39 +0200 (Tue, 27 Jan 2015) $
#$Revision: 130149 $
#$URL:
svn://www.crystallography.net/cod/cif/1/00/88/1008841.
cif $

```

```

# This file is available in the Crystallography Open
Database (COD),
# http://www.crystallography.net/
#
# All data on this site have been placed in the public
domain by the
# contributors.
#

```

```

data_1008841
loop_
 _publ_author_name
'Obradors, X'
'Collomb, A'
'Pernet, M'
'Samaras, D'
'Joubert, J C'
 _publ_section_title
X-ray analysis of the structural and dynamic
properties of Ba Fe12 O19
hexagonal ferrite at room temperature
 _journal_codен ASTM JSSCBI
 _journal_name_full 'Journal of Solid
State Chemistry'
 _journal_page_first 171
 _journal_page_last 181
 _journal_paper_doi 10.1016/0022-
4596(85)90054-4
 _journal_volume 56
 _journal_year 1985
 _chemical_formula_structural 'Ba Fe12 O19'
 _chemical_formula_sum 'Ba Fe12 O19'
 _chemical_name_systematic 'Barium
dodecairon(III) oxide'
 _space_group_IT_number 194

```

```

_symmetry_cell_setting          hexagonal
_symmetry_Int_Tables_number    194
_symmetry_space_group_name_Hall '-P 6c 2c'
_symmetry_space_group_name_H-M 'P 63/m m c'
_cell_angle_alpha              90
_cell_angle_beta               90
_cell_angle_gamma              120
_cell_formula_units_Z          2
_cell_length_a                 5.8920(1)
_cell_length_b                 5.8920(1)
_cell_length_c                 23.183(1)
_cell_volume                   697.0
_refine_ls_R_factor_all        0.016
_cod_database_code             1008841
_atom_site_label
_atom_site_type_symbol
_atom_site_symmetry_multiplicity
_atom_site_Wyckoff_symbol
_atom_site_fract_x
_atom_site_fract_y
_atom_site_fract_z
_atom_site_occupancy
_atom_site_attached_hydrogens
_atom_site_calc_flag
Ba1 Ba2+ 2 d 0.6667 0.3333 0.25 1. 0 d
Fe1 Fe3+ 2 a 0. 0. 0. 1. 0 d
Fe2 Fe3+ 4 e 0. 0. 0.25733(4) 0.5 0 d
Fe3 Fe3+ 4 f 0.3333 0.6667 0.02713(2) 1. 0 d
Fe4 Fe3+ 4 f 0.3333 0.6667 0.19030(2) 1. 0 d
Fe5 Fe3+ 12 k 0.16868 0.33735(7) -0.10825(1) 1. 0 d
O1 O2- 4 e 0. 0. 0.15094(13) 1. 0 d
O2 O2- 4 f 0.3333 0.6667 -0.05454(12) 1. 0 d
O3 O2- 6 h 0.18213 0.36426(47) 0.25 1. 0 d
O4 O2- 12 k 0.15647 0.31294(35) 0.05192(8) 1. 0 d
O5 O2- 12 k 0.5026 0.00520(34) 0.14957(8) 1. 0 d
_atom_type_symbol
_atom_type_oxidation_number
Ba2+ 2.000
Fe3+ 3.000
O2- -2.000

```

LAMPIRAN C

Data ICSD Hematit (Fe_2O_3)

COD ICSD Collection Code 15840
 DATE Recorded Jan 1, 1980; ipdate Jun 2, 1999
 NAME Iron(III) oxide - alpha
 MINR Hematite - from Elba, Italy
 MINR Corundum group
 FORM Fe_2O_3
 = Fe_2O_3
 TITL Refinement of the hematite structure
 REF American Mineralogist
 AMMIA 51 (1966) 123-129
 AUT Blake R L, HessevickŸRŸE, ZoltaiŸT, FingerŸLŸW
 Cell a=5.038(2) b=5.038 c=13.772(12) à=90.0 á=90.0
 ç=120.0
 V=302.7 D=5.276 Z=6
 SGR R -3 c H (167) - trigonal
 CLAS -3m (Hermann-Mauguin) - D3d (Schoenflies)
 PRS hR30
 ANX A2X3
 PARM Atom__No OxStat Wyck -----X----- -----Y----- -----Z-----
 -SOF-
 Fe 1 3.000 12c 0.
 0. 0.35530(1)
 O 1 -2.000 18e 0.3059(1) 0.
 1/4
 WYCK e c
 Ÿ
 TF Atom á(1,1) á(2,2) á(3,3) á(1,2) á(1,3)
 á(2,3)
 Fe 10.0080 0.0080 0.0003 0.0040 0.0000 0.0000
 (1) (1) (0) (1)
 O 10.0068 0.0083 0.0005 0.0042 0.00060.0012
 REM M PDF 33-664
 RVAL 0.036

LAMPIRAN D

Perhitungan koefisien Penyerapan (Γ)

Contoh perhitungan pada BaM x 0,3

Diketahui : $RL_{\max} = -36,156 \text{ dB}$

Ditanya : Γ ?

% penyerapan gelombang EM ?

Jawab : $|\Gamma| = 10^{(RL/20)}$

$$|\Gamma| = 10^{(-36,156/20)}$$

$$|\Gamma| = 10^{-1,8078}$$

$$|\Gamma| = 0,01556$$

$$\begin{aligned} \text{\% penyerapan gelombang EM} &= (1 - \Gamma) \times 100\% \\ &= (1 - 0,01556) \times 100\% \\ &= 98,443\% \end{aligned}$$

BIODATA PENULIS



Ni'matul Awalina akrab dipanggil Ni'ma, lahir di kota Blitar pada 14 Oktober 1994. Merupakan anak pertama dari Ayah Jaenuri dan Ibu Eka Yulianti. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Mayangsari 2, SDN Bendosewu 2, SMPN 1 Talun dan SMAN 1 Talun. Penulis melanjutkan pendidikan di Fisika ITS pada tahun 2013 serta terdaftar dengan NRP 1113100012. Selama menjadi

mahasiswa di Fisika ITS penulis aktif melakukan kegiatan pelatihan seperti LKMM Pra TD FMIPA, Pelatihan Manajemen Organisasi (PMO) LMB ITS dan Penataran wasit cabang silat cabang Surabaya. Selain itu penulis juga aktif mengikuti organisasi baik di jurusan maupun di Institut, diantaranya menjadi Staff BSO Physics Summit HIMASIKA ITS tahun 2014/2015, Asisten Laboratorium Fisika Dasar I Tahun 2014/2015, Bendahara BSO Physics Summits HIMASIKA ITS tahun 2015/2016, Ketua Departemen Event di UKM PSHT ITS tahun 2015/2016, Asisten Laboratorium Fisika Material tahun 2015/2016, Asisten Fisika Dasar II Tahun 2016/2017. Penulis ingin selalu mengembangkan ilmu, wawasan dan juga *soft skill* yang dimiliki, oleh karena itu apabila ada kritik dan saran dapat dikirim ke email : alinvella@gmail.com atau Hp : 082232630017.